التطبيقات الفلكية

في الملاحـة السماويـة



أحمد محمد الأنصاري

مقدمة المؤلف

لماذا يتعين على كل شخص له اهتمام في مجال الفلك، ممارسة وتعلم الحسابات الفلكية وحل المثلثات الكروية من أجل معرفة مواقيت شروق وغروب الاجرام السماوية، ومواقيت الصلاة، ومعرفة الاتجاهات والمواقع الجغرافية على سطح الكرة الأرضية، وغيرها من الحسابات والمعادلات والأرقام، والضغط المتواصل على أزرار الآلة الحاسبة؟ في عصر الإلكترونيات، وبرامج الحاسوب، وتطبيقات الهواتف الذكية، ونظام تحديد المواقع العالمي؟!

قد يتساءل المرء كذلك عن سبب استمرار الكثير من الفلكيين بالخروج من منازلهم والابتعاد عن مدنهم وقضاء ساعات طويلة في العراء لرصد ظاهرة فلكية ما بدلاً من استخدام برامج محاكاة السماء، والاكتفاء بالنظر إلى شاشات أجهزة الحاسوب الملونة؟

الجواب بالنسبة لي هو نفسه: " لأنه في حقيقة الأمر فن "، ولأنك إن اخترت عدم تعلم ذلك بسبب نظام تحديد المواقع العالمي، والتقنيات الإلكترونية الحديثة. فما هي الأشياء الأخرى التي أنت على استعداد أيضاً لعدم تعلمها؟

لا شك بأن نظام تحديد المواقع العالمي، والتقنيات الإلكترونية الحديثة أمر رائع، وأنا شخصياً استخدمها واستفيد منها، ولكن استخدامها أصبح شائعاً ومتاحاً لجميع الأشخاص، في المقابل تبقى الحسابات الفلكية وأدوات الرصد والقياس تحدٍ فكري، وهي ما تجعلني فلكيا، وبطريقة مختلفة عن بقية الأشخاص، فهذا الفن يحتم عليك استخدام عقلك ومهاراتك، وكل من رفع رأسه باتجاه السماء ونظر إليها يعرف الإثارة التي أتحدث عنها.

لقد استغرق هذا العلم قرونًا وأجيالًا من الفلكيين والملاحين والجغرافيين وعلماء الرياضيات وصانعي الأدوات لتطوير هذا العلم، وايصاله إلى ما هو عليه اليوم، والمعرفة المكتسبة على هذا النحو تعتبر ثروة يجب الحفاظ عليها.

عندما بدأت بتعلم هذا الفن وجدت العديد من الكتب التي تبحث في هذا المجال، وعلى الرغم من أنها مليئة بالمعلومات إلا أنها تسببت في إرباكي أكثر. ربما لأن معظم هذه الكتب كانت موجهة لأهل الاختصاص والخبراء. ففي رأيي لا يمكن للمرء حقًا فهم هذا الجانب من علم الفلك، والاستمتاع بجماله دون معرفة المفاهيم الأساسية، والخلفية الرياضية المطلوبة في هذا المجال، ومن هنا اتخذت من التبسيط والاختصار أسلوباً في كتاباتي ومؤلفاتي الفلكية السابقة بالشكل الذي لا يؤثر على دقة نتائج العمل، وهذا باعتقادي ما يحتاجه الناس أكثر.

يأتي هذا الكتاب استكمالاً لكتابنا السابق الموسوم بالفلك الكروي، فهو يبحث في الموضوعات الحسابية المتعلقة بقوانين المثلثات الكروية وتطبيقاتها الفلكية، ومن أهم هذه الموضوعات والمسائل الفلكية التي تناولها هذا الكتاب باستفاضة وتوضيح موضوع الاهتداء بالنجوم والاجرام السماوية، واستخدامها في تحديد ومعرفة المواقع الجغرافية على سطح الكرة الأرضية، وما يستلزمه ذلك من حسابات وقواعد فلكية مختلفة، ومعرفة بأدوات القياس والرصد الفلكي بالإضافة إلى حساب الوقت وتعيينه بالطرق الفلكية الدقيقة.

كما تضمنت جميع موضوعات الكتاب تقريباً على تطبيقات، وتمارين محلولة تساعد الباحث في فهم واستيعاب تلك المسائل الحسابية والقوانين الرياضية المتعلقة بها إيماناً منا بأهمية تجسير الهوة بين النظرية والتطبيق العملي في هذا المجال، والله تعالى أسأل العصمة من الخلل والزلل، وأسأله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه نافعاً لعباده.

وفي الختام لا يسعني إلا أن أتقدم بالشكر إلى كل من ساهم في إعداد هذا الكتاب، وأخص بالذكر الأستاذ الفلكي سالم عمر الجعيدي لما قدمه لي من إرشاد وإيضاح في بعض المسائل، ومشاركته معي في بعض الأرصاد الفلكية، والتي وضعتها في هذا الكتاب فله مني جزيل الشكر والامتنان، كما أود أن أشكر الأستاذ أبا عبدالرحمن أبوبكر انغوم مدير معهد دار الحديث للتربية والتعليم في السنغال لما قدمه لي من دعم وتشجيع نابع من حرص واهتمام منه تجاه المسيرة التعليمية، ولثقته بي بعد أن أوكل إلي مهمة إعداد هذا الكتاب والاستعانة به كمنهج دراسي لطلبة المعهد جنباً إلى جنب مع كتابنا السابق الفلك الكروي.

أحمد محمد الأنصاري

الكويت 2022

وقفة وفاء وتقدير



وقفة وفاء وتقدير لرمز رحل عنا، وبقي ارثه وسيرته الطيبة. نسترجعها ونستذكرها بكثير من الحب والامتنان لما قدمه رحمه الله من اسهامات في مسيرة علم الفلك العربي.

العم صالح العجيري رحمه الله كما نعلم جميعاً هو أحد الأوائل المؤسسين لعلم الفلك في منطقتنا العربية، وكما يقال "دائما ما تكون البدايات صعبة لكنها بلا شك المرحلة الأهم" لمن يأتي بعد ذلك. نحن نتحدث عن فترة لم تكن أجهزة الحاسوب والبرامج متوفرة، ولا حتى الآلة الحاسبة كما هو الحال اليوم. في فترة كان العمل والحساب يكون بالأزياج الفلكية وبجداول اللوغاريتمات وجداول الجيب وجيب التمام، ولكم ان تتصوروا مقدار المثابرة والجهد الذي يتطلبه هذا العمل، وهنا أحب أن استرجع الذكريات عندما بدأت مشواري في تعلم علم الفلك. حينها وجدت امامي مؤلفات الدكتور صالح العجيري، واذكر جيداً مقدار حرصي على اقتناء جميع مؤلفاته وكتبه، ودراستها بتمعن ومثابرة، ومن أهم هذه الكتب كتاب المواقيت والقبلة وكتاب دورة الهلال، وكتاب جدولة الوقت.

أستطيع القول بأن هذه الكتب، ومن خلال المعلومات التي تضمنتها شكلت الأساس المعرفي الذي بدأت منه رحلتي في علم الفلك. خصوصاً أنه رحمه الله كان يولي اهتماماً خاصاً للجانب الحسابي من علم الفلك كعلم المواقيت، والفلك الشرعي، والفلك الموضعي، وحساب المثلثات، وهذا بالضبط ما كنت ابحث عنه.

كان بيته مفتوح رحمه الله لكل طالب علم، فبالرغم من كبر سنه وطول باعه في هذا المجال وشهرته الواسعة، ما لمست منه سوى الحرص والاهتمام في كل مسألة كنت اطرحها عليه، وهكذا هم الكبار.

يُعد الفقيد رحمة الله عليه نبراساً وقدوة للأجيال في التفوق والكفاح والحرص على طلب العلم، وسيبقى اسمه راسخاً في ذاكرتنا، وإحدى الأيقونات العلمية البارزة في تاريخ علم الفلك العربي. نسأل الله جلت قدرته أن يرحم فقيدنا برحمته الواسعة ويتجاوز عنه، ويغفر له، ويسكنه فسيح جناته، وأن يجعل قبره روضة من رياض الجنة، وأن يلهم أهله ومحبيه جميل الصبر والسلوان.

الملاحة الفلكية Celestial navigation

الملاحة الفلكية وتعرف كذلك بالملاحة السماوية ،وهي تقنية تحديد الموقع الجغرافي على سطح الكرة الأرضية بواسطة القياسات الزاوية للأجرام السماوية حيث يتم رصد الزاوية الرأسية بين الجرم السماوي (الشمس ،والقمر ،والكواكب الملاحية[1] ،والنجوم الملاحية[2]) وبين خط الأفق عند وقت محدد للحصول على ارتفاع الجرم السماوي ،ومن خلال الجداول الفلكية أو ما يسمى بالتقويم البحري Nautical Almanac يتم استخراج إحداثيات هذا الجرم لوقت الرصد ،ويتم الحصول على العناصر المطلوبة وهو خط الطول وخط العرض بتطبيق قوانين المثلث الكروي .

وقد استخدمت الملاحة الفلكية منذ القدم ففي المجال البحري خصوصاً استخدمها الملاحون في تصحيح مواقعهم الجغرافية وضبطها على درجة من الدقة بصورة سمحت لهم بأن يجوبوا البحار بسفنهم لأغراض الاستكشاف أو التجارة، ولاتزال هذه التقنية تستخدم حتى يومنا هذا بالرغم من التطور الكبير الذي حدث في هذا المجال ودخول الأنظمة الفضائية إليه.

الأدوات المستخدمة في الرصد

تعتمد الملاحة الفلكية على الاستخدام اليدوي للأدوات، ولا تتوفر لنا الدقة فيها إلا بالاستخدام الأمثل والصحيح لهذه الأدوات حيث تهدف عملية رصد الاجرام السماوية إلى الحصول على أحد أضلاع المثلث الكروي، وهو ارتفاع الجرم السماوي عن مستوى الأفق عند وقت محدد، ولهذا يتوجّب على الراصد مراعاة اختيار الأدوات المناسبة ذات الجودة العالية لهذا الغرض، وذلك من أجل الحصول على نتائج دقيقة، لأن الأدوات ذات الجودة المنخفضة قد تُسبب الأخطاء والمتاعب أثناء الرصد، وبالتالي عدم الحصول على النتائج الصحيحة، ويعتبر ذلك مضيعة للوقت والجهد دون طائل، وفيما يأتي نستعرض أهم الأدوات المستخدمة في مجال الملاحة الفلكية .

الأدوات الأساسية الأربعة المستخدمة هي آلة السدس أو آلة الثيودولايت، وساعة لقياس الوقت، والتقويم البحري، والآلة الحاسبة (بدلاً عن الحلول المجدولة المحسوبة مسبقًا).

[1] الكواكب الملاحية الزهرة والمريخ والمشتري وزحل وهي مذكورة في مطبوعات التقويم البحري.
[2] النجوم الملاحية وعددها 57 نجم ملاحي تم اختيارها على أساس شدة لمعانها وتوزيعها في السماء.

آلة قياس الزوايا

وهي الآلة المستخدمة في رصد وقياس ارتفاع الجرم السماوي عن مستوى الأفق، ومن أشهرها: -

- السدس البحري Sextant والتي تستخدم أساساً في البحر وعلى متن السفن لأغراض الملاحة البحرية والفلكية، ويمكن استخدامها كذلك على اليابسة في حال كانت من النوع المزود بميزان تسوية أو في حال توفر ما يعرف باسم الأفق الصناعي[1] .
- الثيودولايت Theodolite وهي آلة تستخدم في أعمال الهندسة المساحية على سطح الأرض حيث تستخدم لقياس الزوايا الرأسية والأفقية وحساب المسافات وتحديد النقاط لأغراض المساحة. كما وتستخدم في عمليات الأرصاد الفلكية ومجالات أخرى مختلفة، ويعتبر الثيودولايت من أفضل وأدق الأدوات في مجاله.

ساعة لقياس الوقت

تتزامن عملية رصد ارتفاع الجرم السماوي مع عملية تسجيل وقت الرصد بتوقيت غرينتش حيث يستخدم هذا الوقت المسجل لاستخراج إحداثيات الجرم السماوي المرصود من الجداول الفلكية، ولا شك من أهمية دقة الساعة المستخدمة في هذه العملية والتأكد من كونها تعطي قراءات صحيحة للوقت دون أخطاء، وتمتاز الساعات الجيدة بالإضافة إلى كونها دقيقة تمتاز كذلك بأن معدل الخطأ فيها يكون ثابتاً بحيث يمكن حسابه ومعرفته مع مرور الزمن، وبالتالي تصحيح الوقت دون الحاجة إلى إعادة ضبط الساعة كل مره.

التقويم البحري Nautical Almanac

وهو عبارة عن مطبوعة ملاحية تصدر بصورة سنوية عن المرصد البحري الأمريكي (USNO) ومكتب المسح الهيدروغرافي في المملكة المتحدة (UKHO)، ويهدف هذا التقويم إلى توفير البيانات اللازمة للتطبيق العملي للملاحة الفلكية، وتشمل هذه البيانات على الزاوية الساعية لغرينتش GHA، والميل .Dec للأجرام السماوية المستخدمة في الملاحة لكل ثانية

[1] الأفق الصناعي هو الأفق البديل عن أفق البحر حيث يستخدم فيه وعاء يحتوي على سائل.

ودقيقة وساعة من كل يوم من أيام السنة كما يشتمل كذلك على إحداثيات النجوم الملاحية ،وبيانات النجم القطبي ،وقائمة بالنجوم اللامعة ،وكذلك مواقيت شروق وغروب الشمس والقمر وموعد عبورهما الزوالي مع الكواكب الملاحية الاربعة بالإضافة إلى جداول التصحيحات العديدة ،وغيرها من البيانات الفلكية المهمة .

أدوات هندسية

ومن أهمها الألة الحاسبة Calculator على أن تكون من النوع الذي تتيح لك استخدام الدوال الرياضية المثلثية، حيث تسمح الألة الحاسبة بحل العديد من المسائل الفلكية في وقت قصير، وبشكل أكثر دقة مما لو استخدمت الطرق الرياضية أو البيانات المجدولة. يمكن لآلة حاسبة صغيرة واحدة أن تحل محل العديد من الجداول الثقيلة والمكلفة.

إضافة إلى الألة الحاسبة تعتبر أدوات التوقيع والرسم الهندسي البسيطة من ضمن الأدوات الهندسية المطلوبة.

من أجل إيجاد الموقع الجغرافي فلكياً هناك ثلاثة عناصر أساسية للملاحة السماوية، سواء كنت في الصحراء أو كنت على متن سفينة تجوب المحيط، وهذه العناصر هي: -

- **معرفة مواقع الأجرام السماوية في وقت محدد.**
- **تحديد وقت الرصد بتوقيت غرينيتش GMT.**
- **القياسات الزاوية (الارتفاعات) بين الأجرام السماوية ومرجع معروف. يمكن أن يكون المرجع جرماً سماوياً آخر، أو في حالتنا سيكون هذه المرجع هو الأفق.**

الطريقة المدرجة هنا هي إجراء الملاحة السماوية على النحو التالي: -

- **رصد زوايا ارتفاع الأجرام السماوية المحددة.**
- **تحديد وقت الرصد.**
- **عمل تصحيحات للقياسات.**
- **استخراج البيانات الفلكية المجدولة من التقويم البحري.**
- **استخدام المعادلات الحسابية.**
- **تعيين النتائج، وتحديد الموقع الجغرافي المطلوب.**

المثلث الفلكي Astronomical triangle

المثلث الفلكي هو مثلث كروي على سطح الكرة السماوية تشكل نتيجة تقاطع ثلاثة دوائر عظمى تصل بين الجرم السماوي X، وسمت رأس الراصد Z، والقطب السماوي المرتفع P، ويعرف هذا المثلث الفلكي PZX كما في حالة جميع المثلثات الكروية بثلاثة أضلاع وثلاثة زوايا تمثل عناصره الستة، ويمكن التعبير عن الأضلاع بأقواس الزوايا المقابلة لمركز الكرة.

يمثل القوس بين القطب والسمت PZ تمام عرض الراصد، والقوس بين القطب والجرم السماوي PX يمثل البعد القطبي PD للجرم السماوي، بينما يمثل القوس بين السمت والجرم السماوي ZX البعد السمتي ZD للجرم، وهو القوس الذي نقوم برصده.

في حين تمثل الزاوية عند القطب P الزاوية الساعية المحلية LHA، وعند السمت Z تمثل الزاوية السمتية AZ أو اتجاه الجرم السماوي، بينما تسمى الزاوية عند الجرم السماوي X بالزاوية المنعزلة، ونادراً ما تستخدم في الحسابات الفلكية.

إذا علمت ثلاثة عناصر من عناصر المثلث الفلكي يمكن إيجاد بقية العناصر، والمعادلة الأساسية في حل المثلث الفلكي هي قانون جيب التمام: -

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A)$$

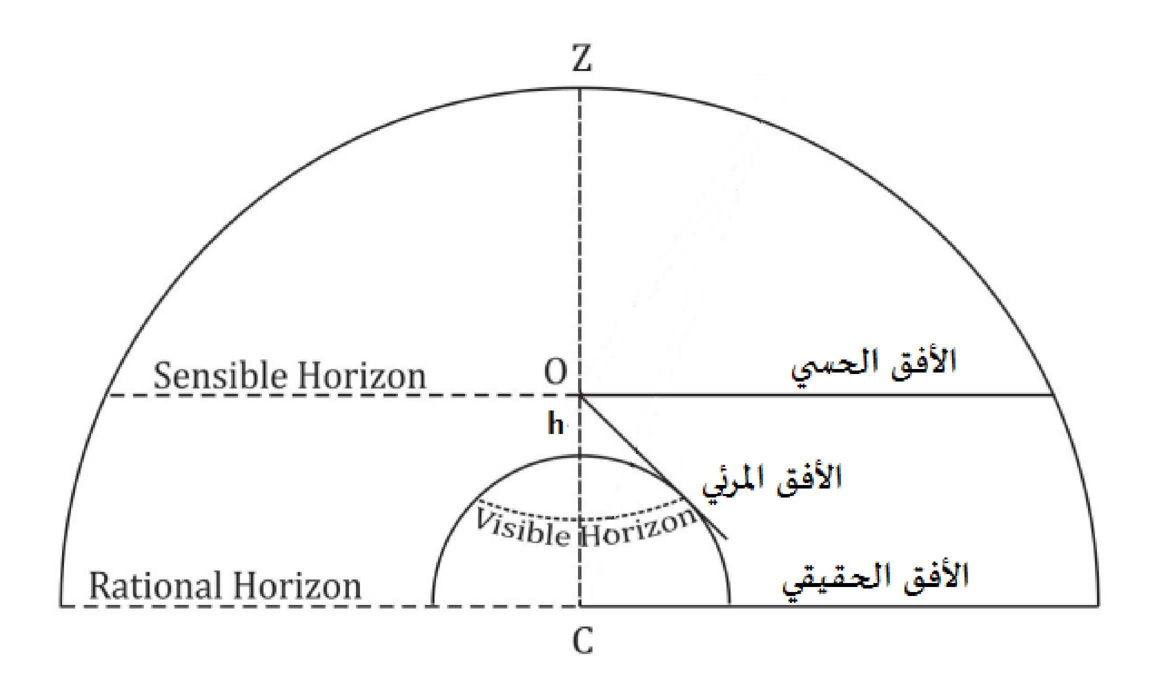
حيث a و b و c هي أقواس زوايا المثلث الكروي، و A هي الزاوية المقابلة للقوس a، والزاوية B و C هما الزاويتين والمقابلتين لأقواس الزوايا b و c على التوالي، ويمكن اشتقاق جميع الصيغ المطلوبة لحل المثلث الفلكي من قانون جيب التمام هذا.

دائرة الأفق

إذا ذهبت بعيدًا عن أضواء المدينة، فإن رؤيتك للسماء في ليلة صافية يكون لديك انطباع بأن السماء عبارة عن قبة مجوفة كبيرة وأنت في مركزها، وأن جميع النجوم تقع على سطح القبة، وعلى مسافة متساوية منك. قمة تلك القبة، أو النقطة التي تعلو رأسك مباشرة، تسمى سمت الرأس Z، وحيث تبدو السماء وكأنها تلتقي بالأرض أو البحر يسمى الأفق Horizon. من السهل رؤية الأفق من البحر أو البراري المستوية كدائرة من حولك، ولكن من معظم الأماكن التي يعيش الإنسان فيها اليوم، يكون الأفق مخفيًا جزئيًا على الأقل بالجبال أو الأشجار أو المباني أو التلوث الدخاني والغبار.

في الملاحة الفلكية يعرف الأفق Horizon بشكل أكثر تفصيلاً على النحو التالي: -

- **الأفق المرئي Visible Horizon عبارة عن دائرة صغرى على سطح الكرة الأرضية حيث تلاقي السماء مع سطح الارض خلال الرؤية الواضحة.**
- **الأفق المحسوس (الحسي) Sensible Horizon عبارة عن مستوى الدائرة الصغرى على الكرة السماوية المار بعين الراصد والعمودي على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ′.**
- **الأفق الحقيقي (المنطقي) Rational Horizon هو مستوى الدائرة العظمى على الكرة السماوية المار بمركز الكرة الأرضية والعمودي على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ′، وهو موازي للأفق الحسي.**



تصحيحات الارتفاع Altitude Corrections

إن قراءة ارتفاع الجرم السماوي المأخوذة مباشرة من مقياس آلة قياس الزوايا المستخدمة في رصد هذا الجرم، لابد لها من أن تخضع إلى مجموعة من التصحيحات، لتحويلها إلى قراءه ارتفاع حقيقي لذلك الجرم، وبغض النظر عما إذا كانت آلة قياس الزوايا المستخدمة في عملية الرصد هي السدس البحري أو الثيودولايت، فإنه ومع التباين في طريقة تصحيح الارتفاع لكل منهما تبقى عملية تصحيح الارتفاع غاية في الأهمية، وذلك قبل البدء في تطبيق القوانين والانتقال إلى مرحلة إيجاد الموقع الجغرافي، في هذا الكتاب وفي معظم كتب الملاحة السماوية، تم تحديد الارتفاعات (زاوية الارتفاع فوق الأفق) للأجرام السماوية المقاسة بهذه المتغيرات: -

الارتفاع السدسي: قياس زاوية الارتفاع الخام المأخوذة مباشرة بواسطة مقياس آلة السدس.

الارتفاع المرصود: قياس زاوية الارتفاع المأخوذة بواسطة مقياس آلة السدس بعد تصحيح خطأ الآلة نسبة إلى الأفق المرئي Visible Horizon.

الارتفاع الظاهري: قياس زاوية الارتفاع المرصودة بعد حساب خطأ الأفق، أو قياس الزاوية المأخوذة بواسطة مقياس آلة الثيودولايت نسبة إلى الأفق الحسي Sensible Horizon.

الارتفاع الحقيقي: قياس زاوية الارتفاع بعد تصحيح انكسار الغلاف الجوي، وأخطاء اختلاف المنظر، ونصف القطر، المرتبطة بجرم سماوي معين نسبة إلى الأفق الحقيقي Rational Horizon.

بافتراض أن الارتفاع المقاس بالسدس البحري يسمى الارتفاع السدسي، وذلك المقاس باستخدام الثيودولايت يسمى الارتفاع الظاهري فإنه يمكن تلخيص مجموعة تصحيحات الارتفاع على النحو التالي: -

خطأ المؤشر Index Error

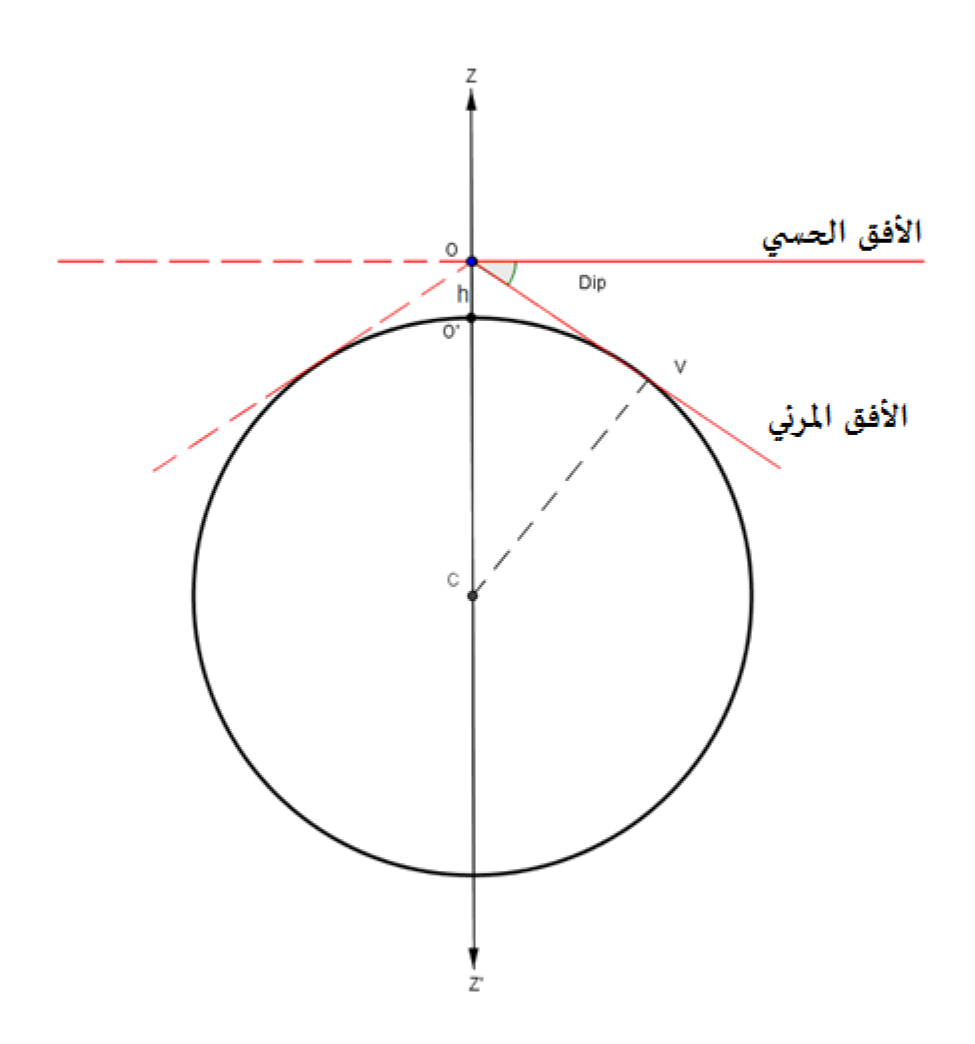
وهو خطأ متعلق بآلة قياس الارتفاع نفسها، ويحدد بعدة طرق، ويكون معلوماً لدى الراصد، ويحدث عندما تكون قراءة مؤشر الآلة أكبر مما هو مفروض فيسمى حينها الخطأ داخل المؤشر On Arc أو عندما تكون قراءة مؤشر الآلة أقل من المفترض فيسمى حينها الخطأ خارج المؤشر Off Arc، وعادة ما يكون هذا الخطأ متعلقا بآلة السدس البحري، وبتصحيحه نحصل على قيمة الارتفاع المرصود للجرم السماوي.

خطأ الانخفاض Dip

وهو زاوية انخفاض الأفق المرئي أسفل الأفق الحسي، ومقدار هذه الزاوية تتناسب طردياً مع ارتفاع عين الراصد h عن مستوى سطح البحر فكلما زاد ارتفاع الراصد زادت قيمة زاوية الانخفاض، ولذلك دائماً يجب حذف هذا الخطأ من قيمة الارتفاع المرصود للجرم السماوي من أجل الحصول على ارتفاعه الظاهري، ويمكن حسابها بالدقائق القوسية من خلال المعادلة.

$$Dip' = 1.758 \times \sqrt{h}$$

باعتبار h ارتفاع الراصد عن مستوى سطح البحر بالمتر أو يمكن الحصول عليها من جدول تصحيح انخفاض الأفق.



ارتفاع الراصد	تصحيح الانخفاض	ارتفاع الراصد	تصحيح الانخفاض	ارتفاع الراصد	تصحيح الانخفاض	ارتفاع الراصد	تصحيح الانخفاض
1.2m		6.1m		14.7m		27m	
	-2'.0		-4'.4		-6'.8		-9'.2
1.4		6.4		15.1		27.6	
	-2'.1		-4'.5		-6'.9		-9'.3
1.5		6.7		15.6		28.2	
	-2'.2		-4'.6		-7'.0		-9'.4
1.6		7.0		16.0		28.8	
	-2'.3		-4'.7		-7'.1		-9'.5
1.8		7.3		16.5		29.4	
	-2'.4		-4'.8		-7'.2		-9'.6
1.9		7.6		16.9		30.0	
	-2'.5		-4'.9		-7'.3		-9'.7
2.1		7.9		17.4		30.7	
	-2'.6		-5'.0		-7'.4		-9'.8
2.3		8.2		17.9		31.3	
	-2'.7		-5'.1		-7'.5		-9'.9
2.4		8.6		18.4		31.9	
	-2'.8		-5'.2		-7'.6		-10'.0
2.6		8.9		18.9		32.6	
	-2'.9		-5'.3		-7'.7		-10'.1
2.8		9.2		19.4		33.2	
	-3'.0		-5'.4		-7'.8		-10'.2
3		9.6		19.9		33.9	
	-3'.1		-5'.5		-7'.9		-10'.3
3.2		9.9		20.4		34.5	
	-3'.2		-5'.6		-8'.0		-10'.4
3.4		10.3		20.9		35.2	
	-3'.3		-5'.7		-8'.1		-10'.5
3.6		10.7		21.4		35.9	
	-3'.4		-5'.8		-8'.2		-10'.6
3.8		11		21.9		36.6	
	-3'.5		-5'.9		-8'.3		-10'.7
4.1		11.4		22.5		37.3	
	-3'.6		-6'.0		-8'.4		-10'.8
4.3		11.8		23.0		38.0	
	-3'.7		-6'.1		-8'.5		-10'.9
4.5		12.2		23.6		38.7	
	-3'.8		-6'.2		-8'.6		-11'.0
4.8		12.6		24.1		39.4	
	-3'.9		-6'.3		-8'.7		-11'.1
5		13		24.7		40.1	
	-4'.0		-6'.4		-8'.8		-11'.2
5.3		13.4		25.3		40.8	
	-4'.1		-6'.5		-8'.9		-11'.3
5.6		13.8		25.8		41.5	
	-4'.2		-6'.6		-9'.0		-11'.4
5.8		14.3		26.4		42.3	
	-4'.3		-6'.7		-9'.1		-11'.5
6.1		14.7		27.0		43.0	

خطأ الانكسار Refraction

وهو ظاهرة تسبب ظهور الجرم السماوي في غير موقعه الحقيقي، بحيث يظهر بارتفاع أعلى مما يجب أن يكون عليه نتيجة انكسار الضوء الصادر منه خلال عبوره لطبقات الغلاف الجوي مختلفة الكثافة، والتي تزداد في الطبقة القريبة من سطح الأرض. حيث يبلغ تأثير انكسار الضوء القادم من الجرم السماوي أقصى حدوده بالقرب من الأفق بينما يقل هذا التأثير كلما زاد ارتفاعه، ويمكن حساب تصحيح الانكسار من خلال استخدام إحدى المعادلتين التاليتين: -

$$R^\circ = \frac{0.0167}{Tan\left(h + (\frac{7.32}{(h + 4.32)})\right)}$$

$$R^\circ = \frac{0.016}{\text{Tan}(h)} \qquad \textit{for } h > 11^\circ$$

حيث h تمثل الارتفاع الظاهري للجرم السماوي

كما يمكن الحصول عليها كذلك من جدول تصحيح الانكسار المحسوب عند الظروف القياسية حيث درجة الحرارة 10° C والضغط الجوي 1010 mb .

إن قيمة الانكسار مستقرة بشكل عام، وبالتالي يمكن التنبؤ بها لما فوق ارتفاع 15°، بينما عند الارتفاعات الأقل من ذلك يحتاج إلى النظر في خصائص الطبقات الجوية التي يمر الضوء خلالها عند ذلك الوقت، ولهذا السبب يجب تجنب رصد ارتفاع الاجرام السماوية التي يقل ارتفاعها عن 15°.

الارتفاع الظاهري	تصحيح الانكسار
6° 51'	
	-07'.5
6° 57'	
	-07'.4
7° 04'	
	-07'.3
7° 10'	
	-07'.2
7° 17'	
	-07'.1
7° 23'	
	-07'.0
7° 30'	
	-06'.9
7° 38'	
	-06'.8
7° 45'	
	-06'.7
7° 53'	
	-06'.6
8° 00'	
	-06'.5
8° 08'	
	-06'.4
8° 17'	
	-06'.3
8° 25'	
	-06'.2
8° 34'	
	-06'.1
8° 43'	
	-06'.0
8° 53'	
	-05'.9
9° 02'	
	-05'.8
9° 12'	
	-05'.7
9° 23'	
	-05'.6
9° 33'	
	-05'.5
9° 44'	
	-05'.4
9° 56'	
	-05'.3
10° 08'	
	-05'.2
10° 20'	

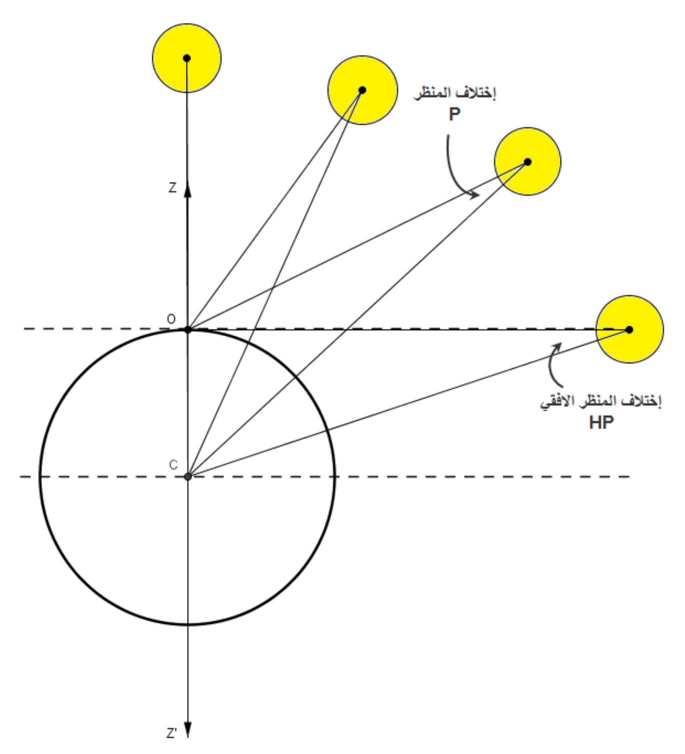
الارتفاع الظاهري	تصحيح الانكسار
10° 20'	
	-05'.1
10° 33'	
	-05'.0
10° 46'	
	-04'.9
10° 59'	
	-04'.8
11° 14'	
	-04'.7
11° 29'	
	-04'.6
11° 44'	
	-04'.5
12° 00'	
	-04'.4
12° 17'	
	-04'.3
12° 35'	
	-04'.2
12° 53'	
	-04'.1
13° 12'	
	-04'.0
13° 32'	
	-03'.9
13° 53'	
	-03'.8
14° 15'	
	-03'.7
14° 38'	
	-03'.6
15° 03'	
	-03'.5
15° 29'	
	-03'.4
15° 56'	
	-03'.3
16° 24'	
	-03'.2
16° 55'	
	-03'.1
17° 27'	
	-03'.0
18° 01'	
	-02'.9
18° 37'	
	-02'.8
19° 15'	

الارتفاع الظاهري	تصحيح الانكسار
19° 15'	
	-02'.7
19° 56'	
	-02'.6
20° 40'	
	-02'.5
21° 27'	
	-02'.4
22° 17	
	-02'.3
23° 11'	
	-02'.2
24° 09'	
	-02'.1
25° 12'	
	-02'.0
26° 20'	
	-01'.9
27° 34'	
	-01'.8
28° 54'	
	-01'.7
30° 22'	
	-01'.6
31° 57'	
	-01'.5
33° 42'	
	-01'.4
35° 38'	
	-01'.3
37° 45'	
	-01'.2
40° 06'	
	-01'.1
42° 41'	
	-01'.0
45° 33'	
	-00'.9
48° 44'	
	-00'.8
52° 16'	
	-00'.7
56° 09'	
	-00'.6
60° 25'	
	-00'.5
65° 05'	
	-00'.4
70° 08'	

الارتفاع الظاهري	تصحيح الانكسار
70° 08'	
	-00'.3
75° 31'	
	-00'.2
81° 10'	
	-00'.1
87° 00'	
	00'.0
90° 00'	

اختلاف المنظر Parallax

هي الزاوية المقاسة عند مركز الجرم السماوي والمحصورة بين اتجاه الراصد O واتجاه مركز الكرة الأرضية C،وبما أن رصد الارتفاع يتم من على سطح الأرض حيث يقف الراصد فلابد إذاً من إضافة تصحيح اختلاف المنظر Parallax لتصحيح موقع الجرم السماوي وجعله مقاساً من مركز الأرض بدلاً من سطحها، ويبلغ هذا التصحيح أقصى قيمة له عندما يكون الجرم السماوي عند الأفق الحسي فيسمى حينها باختلاف المنظر الأفقي Horizontal Parallax، وتقل قيمته كلما زاد ارتفاع الجرم عن الأفق حتى يتلاشى حين يبلغ ارتفاع الجرم السماوي 90°، وتعتبر قيمة اختلاف المنظر الأفقي HP بالنسبة إلى الشمس صغيرة جداً حيث تبلغ في المتوسط مقدار 9″ ويمكن إهمالها كما هو الحال مع جميع النجوم وكوكب المشتري وزحل، وتكون أكبر بقليل



لكوكب الزهرة والمريخ بينما تكون أقصى قيمة لها في حال القمر ذلك بسبب قربه من الأرض، ويمكن حساب قيمة اختلاف المنظر P بعد الحصول على قيمة اختلاف المنظر الأفقي HP للقمر من خلال صفحات التقويم البحري اليومية مع إمكانية إهمال وتجاوز هذا التصحيح لبقية الاجرام السماوية.

$$P = HP \times Cos(h)$$

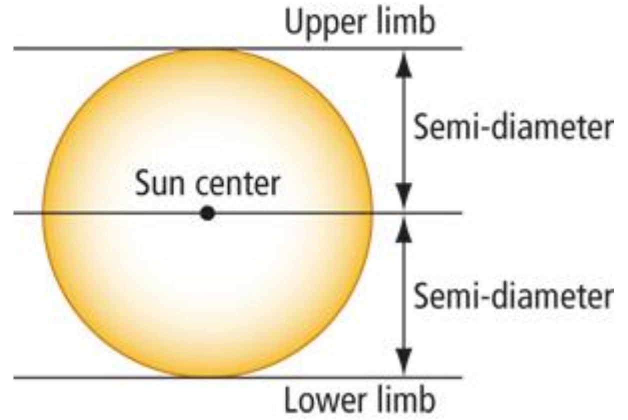
حيث h تمثل الارتفاع الظاهري للجرم السماوي

ويمكن حساب قيمة اختلاف المنظر الأفقي HP للقمر في حال معرفة كل من نصف قطر الأرض (6378.14 km)، ومسافة القمر من الأرض بالكيلومتر من خلال استخدام المعادلة الرياضية التالية.

$$Sin(HP) = \frac{6378.14}{\text{Distance of the Moon from the Earth}}$$

نصف القطر Semi Diameter

بخلاف الكواكب والنجوم اللذان يظهران كنقاط مضيئة في السماء تظهر الشمس كما القمر على هيئة قرص له قطر ظاهر، ويعتمد هذا القطر الزاوي على مسافة الجرم السماوي من الأرض، ويعرف نصف القطر SD على أنه الزاوية المقاسة عند عين الراصد والمحصورة بين اتجاه مركز الجرم واتجاه حافته العليا أو السفلى.



ولما كانت ارتفاعات الاجرام السماوية تقاس من مراكزها حتى مستوى خط الأفق فإنه يصبح من الضروري إضافة تصحيح نصف القطر إذا كان الرصد للحافة العليا Upper Limp أو السفلى Lower Limb للجرم السماوي ففي حال تم رصد ارتفاع الحافة العليا U.L للشمس مثلاً لابد من طرح قيمة نصف قطرها بينما في حال رصد ارتفاع الحافة السفلى L.L للشمس لابد من إضافة قيمة نصف قطرها، أما إذا تم رصد ارتفاع مركز قرص الشمس والقمر كما يحدث عادة عند استخدام آلة الثيودولايت فلا حاجة حينها لتصحيح نصف القطر.

تتراوح قيمة نصف قطر قرص الشمس ما بين '16.3 في شهري ديسمبر ويناير حيث تكون قريبة من الأرض، وبين '15.8 في شهري يونيو ويوليو حيث تكون بعيدة عنها، ونظرًا لأن الملاحين يرصدون الطرف العلوي أو السفلي للشمس، فنحن بحاجة إلى تصحيح الفرق بين مركز الشمس وحافتها.

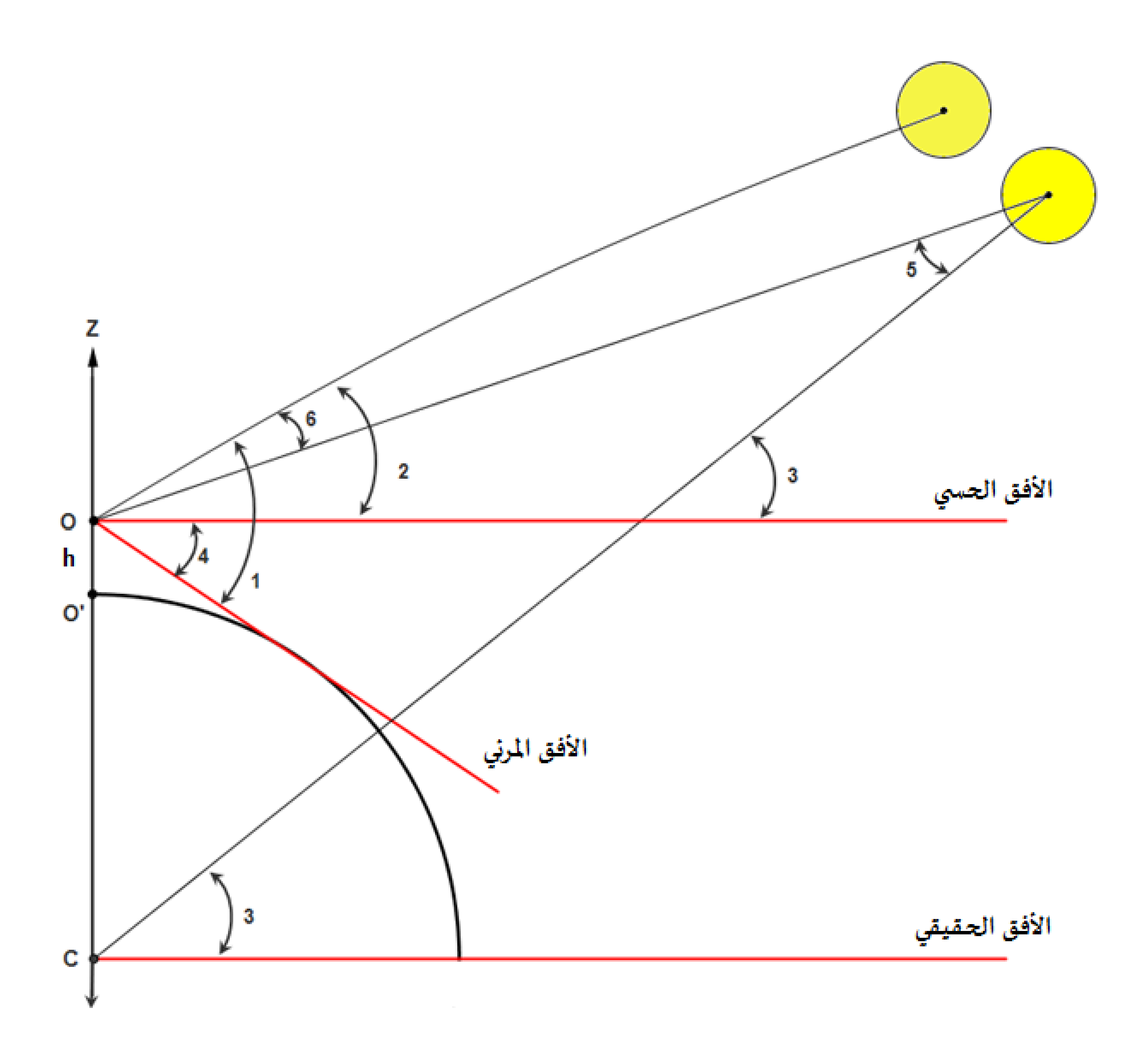
أما بالنسبة إلى القمر، تتغير قيمة نصف قطره بسرعة أكبر من الشمس، وذلك بسبب المدة القصيرة نسبياً التي يتم فيها دورته حول الأرض، ويمكن حساب قيمة نصف القطر SD بعد الحصول على قيمة اختلاف المنظر الأفقي HP للقمر من خلال صفحات التقويم البحري اليومية باستخدام المعادلة: -

$$S.D' = 0.2725 \times HP'$$

وبتصحيح كل من خطأ الانكسار، واختلاف المنظر، ونصف القطر، من قيمة الارتفاع الظاهري للجرم السماوي نحصل على ارتفاعه الحقيقي المنسوب إلى الأفق الحقيقي.

نصف قطر الشمس

اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر
01-Jan	16' 15.8"	01-Feb	16' 13.9"	01-Mar	16' 08.5"	01-Apr	16' 00.4"
05-Jan	16' 15.9"	05-Feb	16' 13.3"	05-Mar	16' 07.6"	05-Apr	15' 59.3"
10-Jan	16' 15.8"	10-Feb	16' 12.5"	10-Mar	16' 06.3"	10-Apr	15' 58.0"
15-Jan	16' 15.6"	15-Feb	16' 11.6"	15-Mar	16' 05.1"	15-Apr	15' 56.6"
20-Jan	16' 15.2"	20-Feb	16' 10.6"	20-Mar	16' 03.7"	20-Apr	15' 55.3"
25-Jan	16' 14.7"	25-Feb	16' 09.5"	25-Mar	16' 02.3"	25-Apr	15' 54.0"
30-Jan	16' 14.1"	28-Feb	16' 08.8"	30-Mar	16' 01.0"	30-Apr	15' 52.7"
اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر
01-May	15' 52.5"	01-Jun	15' 46.4"	01-Jul	15' 43.9"	01-Aug	15' 45.4"
05-May	15' 51.5"	05-Jun	15' 45.8"	05-Jul	15' 43.9"	05-Aug	15' 45.9"
10-May	15' 50.5"	10-Jun	15' 45.3"	10-Jul	15' 44.0 "	10-Aug	15' 46.6"
15-May	15' 49.4"	15-Jun	15' 44.8"	15-Jul	15' 44.1"	15-Aug	15' 47.4"
20-May	15' 48.4"	20-Jun	15' 44.4"	20-Jul	15' 44.3"	20-Aug	15' 48.3"
25-May	15' 47.5"	25-Jun	15' 44.1"	25-Jul	15' 44.7"	25-Aug	15' 49.2"
30-May	15' 46.7"	30-Jun	15' 43.9"	30-Jul	15' 45.2"	30-Aug	15' 50.3"
اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر	اليوم	نصف القطر
01-Sep	15' 50.7"	01-Oct	15' 58.3"	01-Nov	16' 06.7"	01-Dec	16' 13.1"
05-Sep	15' 51.7"	05-Oct	15' 59.5"	05-Nov	16' 07.7"	05-Dec	16' 13.7"
10-Sep	15' 52.9"	10-Oct	16' 00.0"	10-Nov	16' 08.9"	10-Dec	16' 14.4"
15-Sep	15' 54.1"	15-Oct	16' 02.2"	15-Nov	16' 10.0"	15-Dec	16' 14.9"
20-Sep	15' 55.4"	20-Oct	16' 03.5"	20-Nov	16' 11.0"	20-Dec	16' 15.3"
25-Sep	15' 56.7"	25-Oct	16' 04.9"	25-Nov	16' 12.0"	25-Dec	16' 15.6"
30-Sep	15' 58.0"	30-Oct	16' 06.2"	30-Nov	16' 12.9"	30-Dec	16' 15.8"



رقم الزاوية	ترمز إلى	رقم الزاوية	ترمز إلى
1	الارتفاع المرصود	4	زاوية الانخفاض
2	الارتفاع الظاهري	5	زاوية اختلاف المنظر
3	الارتفاع الحقيقي	6	زاوية الانكسار

تصحيحات الارتفاع السدسي للجرم السماوي المقاس باستخدام آلة السدس البحري

الارتفاع السدسي	00° 00′ 00″	
خطأ الجهاز + Off arc or - On arc	0.0′	±
الارتفاع المرصود	00° 00′ 00″	

الارتفاع المرصود	00° 00′ 00″	
تصحيح الانخفاض (x meter)	0.0′	-
الارتفاع الظاهري	00° 00′ 00″	

الارتفاع الظاهري	00° 00′ 00″	
تصحيح الانكسار	0.0′	-
اختلاف المنظر	0.0′	+
نصف القطر + L.L or – U.L	0.0′	±
الارتفاع الحقيقي	00° 00′ 00″	

تصحيحات الارتفاع الظاهري لمركز الجرم السماوي المقاس باستخدام الثيودولايت

الارتفاع الظاهري	00° 00′ 00″	
تصحيح الانكسار	0.0′	-
اختلاف المنظر	0.0′	+
الارتفاع الحقيقي	00° 00′ 00″	

مثال: تم رصد ارتفاع الحافة السفلى للشمس Sun Lower Limb يوم 10 June 2015 باستخدام جهاز السدس فكان ارتفاعها السدسي يعادل ″18 ′12 °40 ، احسب ارتفاع الشمس الحقيقي إذا علمت أن:-

خطأ الجهاز (On arc)	1.2′
ارتفاع الراصد	12m
نصف قطر الشمس	15′ 45.3″

الارتفاع السدسي	40° 12′ 18″	
خطأ الجهاز On arc -	1.2′	-
الارتفاع المرصود	40° 11′ 06″	

الارتفاع المرصود	40° 11′ 06″	
تصحيح الانخفاض (12 meter)	6.1′	-
الارتفاع الظاهري	40° 05′ 00″	

الارتفاع الظاهري	40° 05′ 00″	
تصحيح الانكسار	1.2′	-
نصف القطر L.L +	15′ 45.3″	+
الارتفاع الحقيقي	40° 19′ 33.3″	

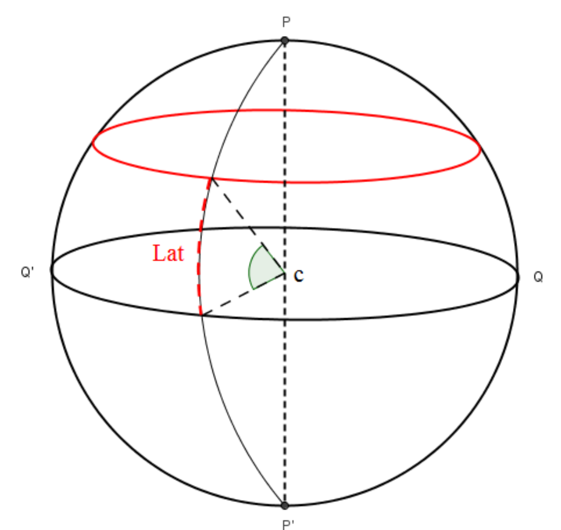
مثال: في يوم 28 Aug. 2020 تم استخدام الثيودولايت لرصد ارتفاع نجم النسر الطائر Altair فكان ارتفاعه الظاهري ″48 ′19 °49 ، احسب ارتفاعه الحقيقي.

الارتفاع الظاهري	49° 19′ 48″	
تصحيح الانكسار	0.8′	-
الارتفاع الحقيقي	49° 19′ 00″	

نظام الاحداثيات على سطح الارض

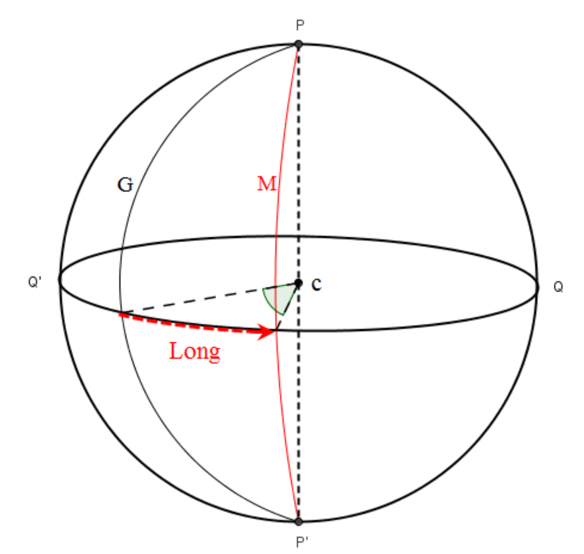
تقسم الارض إلى شبكة عبارة عن إنصاف دوائر عظمى تصل القطب الشمالي بالجنوبي تسمى خطوط الطول، ودوائر صغرى موازية لدائرة الاستواء، تسمي دوائر العرض، وتستخدم هذه الشبكة في تحديد وتعيين الاماكن على سطح الكرة الارضية. حيث يحدد أي موقع على سطح الارض على اساس شبكة الاحداثيات التي يصنعها تقاطع خطوط الطول مع دوائر العرض.

العرض الجغرافي Latitude



عرض المكان هو قوس من خط الزوال (الطول) المار بـالمكان والمحصور بين خط الاستواء وذلك المكان بمعنى أنه المسافة الزاوية للمكان المقاسة عند مركز الأرض C شمال أو جنوب خط الاستواء على امتداد خط الزوال المار بذلك المكان، ويعبر عنه بالدرجات والدقائق والثواني القوسية من °0 -°90 شمال N أو جنوب S.

الطول الجغرافي Longitude



طول المكان هو ذلك القوس على خط الاستواء والمحصور بين خط الزوال المار بغرينتش G وخط الزوال المار بالمكان M، بمعنى أنه المسافة الزاوية المقاسة عند مركز الأرض C شرق أو غرب خط زوال غرينتش على امتداد خط الاستواء، ويقاس بالقوس الأصغر بين خطي الزوال، ويعبر عنه بالدرجات والدقائق والثواني القوسية من °0 -°180 شرق E أو غرب W.

فرق العرض Difference of latitude

فرق العرض D. Lat بين مكانين على سطح الكرة الأرضية هو قوس على خط الطول المحصور بين خطي عرض المكانين، ويحسب فرق العرض بين مكانين كالتالي:-

أولاً: إذا كان خطا عرض المكانين متشابهين في الإشارة (N,N or S,S) وفي هذه الحالة نأخذ الفرق بين خطي العرض وتكون إشارة فرق العرض D. Lat بحسب التالي: -

-	من خط عرض شمال	N	إلى خط عرض أكثر شمالاً	N	يكون فرق العرض شمالاً	N
-	من خط عرض جنوب	S	إلى خط عرض أكثر جنوباً	S	يكون فرق العرض جنوباً	S
-	من خط عرض شمال	N	إلى خط عرض أقل شمالاً	N	يكون فرق العرض جنوباً	S
-	من خط عرض جنوب	S	إلى خط عرض أقل جنوباً	S	يكون فرق العرض شمالاً	N

ثانياً: إذا كان خطي عرض المكانين مختلفين في الإشارة (N,S or S,N) وفي هذه الحالة نجمع خطي عرض المكانين وتكون إشارة فرق العرض D. Lat بحسب التالي: -

-	من خط عرض شمال	N	إلى خط عرض جنوب	S	يكون فرق العرض جنوباً	S
-	من خط عرض جنوب	S	إلى خط عرض شمال	N	يكون فرق العرض شمالاً	N

يأخذ خط العرض الشمالي N الإشارة الموجبة (+)، بينما يأخذ خط العرض الجنوبي S الإشارة السالبة (-)، ونطبق العلاقة التالية للحصول على قيمة فرق العرض D. Lat، ويأخذ جهة الشمال N أو الجنوب S بحسب إشارة الناتج.

$$D.Lat = Lat_B - Lat_A$$

فرق الطول Difference of longitude

فرق الطول D. Long بين مكانين على سطح الكرة الأرضية هو القوس الأصغر من خط الاستواء المحصور بين خطي طول المكانين، ويحسب فرق الطول بين مكانين كالتالي: -

أولاً: إذا كان خطا طول المكانين متشابهين في الإشارة (W,W or E,E) وفي هذه الحالة نأخذ الفرق بين الطولين وتكون إشارة فرق الطول D. Long بحسب التالي:-

- **من خط طول شرق E إلى خط طول أكثر شرقاً E يكون فرق الطول شرقاً E**
- **من خط طول غرب W إلى خط طول أكثر غرباً W يكون فرق الطول غرباً W**
- **من خط طول شرق E إلى خط طول أقل شرقاً E يكون فرق الطول غرباً W**
- **من خط طول غرب W إلى خط طول أقل غرباً W يكون فرق الطول شرقاً E**

ثانياً: إذا كان خطي طول المكانين مختلفين في الإشارة (W,E or E,W) وفي هذه الحالة نجمع خطي طول المكانين وتكون إشارة فرق الطول D. Long بحسب التالي: -

- **من خط طول شرق E إلى خط طول غرب W يكون فرق الطول غرباً W**
- **من خط طول غرب W إلى خط طول شرق E يكون فرق الطول شرقاً E**

يأخذ خط الطول الشرقي E الإشارة الموجبة (+)، بينما يأخذ خط الطول الغربي W الإشارة السالبة (-)، ونطبق العلاقة التالية للحصول على قيمة فرق الطول D. Long، ويأخذ جهة الشرق E أو الغرب W بحسب إشارة الناتج.

$$D.Long = Long_B - Long_A$$

في حال جمع خطي طول المكانين لإيجاد فرق الطول D.Long وتجاوز الناتج عن °180 فإنه يتحتم حينها حذف °360 من الناتج وعكس الإشارة.

مثال: إذا علمت أن خط عرض الكعبة المشـــرفة Lat_B 21° 25′ 21″ N فاحســـب فرق العرض D. Lat بين خطوط العرض التالية وخط عرض الكعبة المشرفة.

Lat_A 31° 13′ 12″ N

Lat_A 29° 15′ 00″ N

Lat_A 33° 55′ 56″ S

Lat_A 14° 32′ 11″ N

Lat_A	29° 15′ 00″ N	
Lat_B ~	21° 25′ 21″ N	
D.Lat	07° 49′ 39″	S

Lat_A	14° 32′ 11″ N	
Lat_B ~	21° 25′ 21″ N	
D.Lat	06° 53′ 10″	N

Lat_A	31° 13′ 12″ N	
Lat_B ~	21° 25′ 21″ N	
D.Lat	09° 47′ 51″	S

Lat_A	33° 55′ 56″ S	
Lat_B +	21° 25′ 21″ N	
D.Lat	55° 21′ 17″	N

<u>مثال</u>: إذا علمت أن خط طول الكعبة المشــرفة $Long_B$ 39° 49′ 34″ E فاحســب فرق الطول D. Long بين خطوط الطول التالية وخط طول الكعبة المشرفة.

$Long_A$ 16° 56′ 00″ W	$Long_A$ 12° 10′ 18″ E
$Long_A$ 161° 25′ 56″ W	$Long_A$ 65° 22′ 42″ E

$Long_A$	12° 10′ 18″	E	
$Long_B$ ~	39° 49′ 34″	E	

D.Long	27° 39′ 16″		E

$Long_A$	65° 22′ 42″	E	
$Long_B$ ~	39° 49′ 34″	E	

D.Long	25° 33′ 08″		W

$Long_A$	16° 56′ 00″	W	
$Long_B$ +	39° 49′ 34″	E	

D.Long	56° 45′ 34″		E

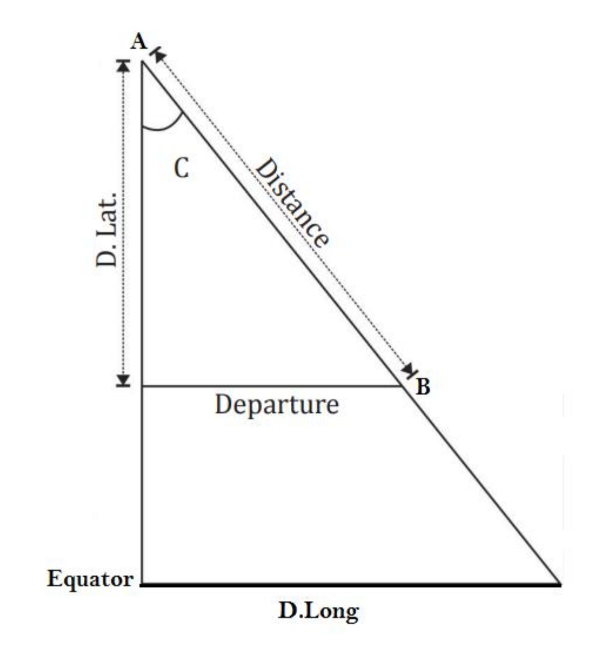
$Long_A$	161° 25′ 56″	W	
$Long_B$ +	39° 49′ 34″	E	

D.Long	201° 15′ 30″		E
~360°			
D.Long	158° 44′ 30″		W

السير المستوي

تستخدم طريقة السير المستوي لإيجاد خط اتجاه السير والمسافة بين موقعين مختلفين على سطح الكرة الأرضية، وفي السير المستوي يظهر خط اتجاه السير كخط مستقيم على المسافات القصيرة، ولكن المسار هو في الواقع منحنى، وإذا تم تمديده فسوف يتصاعد في النهاية حتى يصل إلى القطب الشمالي أو الجنوبي. ونظرًا لاختلاف وحدة خط العرض عن وحدة خط الطول، يجب حساب فرق خط الطول ليصبح ما يعرف باسم التباعد وهو عبارة عن طول القوس على موازي العرض بين خطي طول المكانين، ويجب كذلك استخدام خط العرض المتوسط m.Lat الذي يقع بين خطي عرض المكانين.

في مثلث السير المستوي يصل المسار بين موقع المغادرة A وموقع الوصول B، ويربط بين المتغيرات الأربعة التالية: -



المسافة	Distance (Dist.)
زاوية اتجاه السير	Course (C)
التباعد	Departure (Dep.)
فرق العرض	D.Lat

$$D.Lat = Dist \times Cos(C)$$

$$Dep = D.Lat \times Tan(C)$$

$$D.Long = \frac{Dep}{Cos(m.Lat)}$$

قد لا تتاح للراصد فرصة رصد الأجرام السماوية من أجل تحديد موقعة الجغرافي على سطح الكرة الأرضية بشكل دائم ومستمر. سواء كانت تلك الموانع ناتجة عن سوء الأحوال الجوية والتي يتعذر معها رؤية الأجرام السماوية أو نتيجة عدم تعدد خيارات الرصد من حيث قلة الأجرام السماوية المتاحة أمامه عند وقت محدد كأن يرغب في الرصد خلال ساعات النهار فلا يجد سوى جرم الشمس. أو أية موانع أخرى من شأنها الحؤول دون تمكنه من إتمام الرصد وإيجاد الموقع الجغرافي.

تساعد حسابات السير المستوي الراصد في ايجاد موقعة الجغرافي استناداً على آخر موقع معلوم لديه. بمعرفة كل من خط اتجاه السير الذي سلكه والمسافة التي قطعها من موقعه الأول، وذلك باتباع الخطوات الحسابية التالية:

- يتم تحويل خط اتجاه السير C من النظام الدائري إلى النظام الربعي.
- يتم تحويل المسافة المقطوعة Dist من الكيلومتر إلى الميل البحري بقسمتها على القيمة 1.852
- حساب فرق العرض D.Lat من خلال المعادلة الرياضية، وتأخذ إشارة الشمال أو الجنوب بحسب إشارة خط اتجاه السير.
- بمعلومية كل من خط العرض الأول Lat_A وفرق العرض يتم حساب خط العرض الثاني Lat_B .
- إيجاد خط العرض المتوسط m.Lat بطريقة المتوسط الحسابي لخطي العرض.
- حساب قيمة التباعد Dep من خلال المعادلة الرياضية.
- يتم حساب فرق الطول D.Long بمعلومية كل من قيمة التباعد وخط العرض المتوسط، وتأخذ إشارة الشرق أو الغرب بحسب إشارة خط اتجاه السير.
- بمعلومية خط الطول الأول $Long_A$ وفرق الطول يتم حساب خط الطول الثاني $Long_B$.

مثال: راصد في الموقع الجغرافي (Lat_A 21° 51′ N & $Long_A$ 050° 33′ E) فإذا علمت أنه تحرك مسافة 18.52 Km باتجاه°045 احسب الموقع الجغرافي الثاني(Lat_B & $Long_B$).

المسافة المقطوعة .Dist بالميل البحري 10 N.M،وخط اتجاه السير C بالنظام الربعي N 45° E.

$$D.Lat = Dist \times Cos(C)$$

$$D.Lat = 10' \times Cos(045°)$$

$$D.Lat = 00°\ 07'\text{N}$$

$$Lat(B) = Lat(A) \pm D.Lat$$

$$Lat(B) = 21°\ 51'00''N + 00°\ 07'00''N$$

$$Lat(B) = 21°\ 58'00''N$$

$$Dep = D.Lat \times Tan(C)$$

$$Dep = 00°\ 07' \times Tan(045°)$$

$$Dep = 00°\ 07'$$

$$D.Long = \frac{Dep}{Cos(m.Lat)}$$

$$D.Long = \frac{00°\ \ 07'}{Cos((21°\ \ 51' + 21°\ 58') \div 2)}$$

$$D.Long = 00°\ 07'\ 32''E$$

$Long(B) = Long(A) \pm D.Long$

$Long(B) = 50° \, 33' \, 00''E + 00° \, 07' \, 32''E$

$Long(B) = 50° \, 40' \, 32''E$

<u>مثال</u>: راصد في الموقع الجغرافي (Lat_A 14° 36′ N & $Long_A$ 049° 15′ E) فإذا علمت أنه تحرك مسافة 120 Km باتجاه310° احسب الموقع الجغرافي الثاني(Lat_B & $Long_B$).

المسافة المقطوعة Dist بالميل البحري 64.79 N.M، خط اتجاه السير C بالنظام الربعي N 50° W.

$D.Lat = Dist \times Cos(C)$

$D.Lat = 64.79' \times Cos(50°)$

$D.Lat = 00° \, 41' \, 39''N$

$Lat(B) = Lat(A) \pm D.Lat$

$Lat(B) = 14° \, 36' \, 00''N + 00° \, 41' \, 39''N$

$Lat(B) = 15° \, 17' \, 39''N$

$Dep = D.Lat \times Tan(C)$

$Dep = 00° \, 41' \, 39'' \times Tan(050°)$

$Dep = 00° \, 49' \, 38''$

$$D.Long = \frac{Dep}{Cos(m.Lat)}$$

$$D.Long = \frac{00^\circ\, 49'\, 38''}{Cos((14^\circ\, 36' + 15^\circ\, 17'\, 39'') \div 2)}$$

$$D.Long = 00^\circ\, 51'\, 22''W$$

$$Long(B) = Long(A) \pm D.Long$$

$$Long(B) = 49^\circ\, 15'00''E - 00^\circ\, 51'22''W$$

$$Long(B) = 48^\circ\, 23'\, 38''E$$

إذا كنت في موقع (Position (A، وتريد الانتقال إلى موقع (Position (B يمكنك بسهولة حساب اتجاه السير C بالنظام الربعي، والمسافة .Dist التي تفصل بين الموقعين بالميل البحري. من خلال قوانين السير المستوي، وذلك بعد حساب كل من فرق العرض D. Lat وفرق الطول D. Long بين الموقعين، وكذلك قيمة التباعد .Dep، ومن ثم استخدام قوانين السير المستوي التالية: -

$$Tan(C) = \frac{Dep.}{D.Lat}$$

$$Dist. = \frac{D.Lat}{Cos(C)} \times 60^\circ$$

تعمل هذه المعادلات حتى مسافة 600 ميل بحري، فإذا زادت المسافة عن ذلك يجب الانتقال إلى طريقة الدائرة العظمى في الحساب Great Circle Calculation، حيث يؤخذ في الاعتبار كروية الأرض.

الوقت النجمي Sidereal Time

يعرف الوقت النجمي على أنه طول القوس على خط الاستواء السماوي أو الزاوية المقاسة عند القطب ابتداء من خط الزوال العلوي وحتى خط الزوال المار بنقطة الاعتدال الربيعي باتجاه الغرب، ويعبر عنها بوحدات زمنية، ويتم تعيين الوقت النجمي لغرينتش GST باستخدام المعادلة التالية:-

$$GST^h = GST_0 + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

حيث GMT يمثل وقت غرينتش المتوسط، و d رقم اليوم من السنة (1 يناير ← d = 1) بينما GST_0 يمثل قيمة الوقت النجمي الصفري لغرينتش بالوحدات الزمنية عند بداية السنة، ويوفر الجدول التالي هذه القيمة.

Year	GST_0	Year	GST_0	Year	GST_0	Year	GST_0
2010	06 38 13	2028	06 36 48	2046	06 39 20	2064	06 37 55
2011	06 37 16	2029	06 39 48	2047	06 38 23	2065	06 40 54
2012	06 36 19	2030	06 38 50	2048	06 37 25	2066	06 39 57
2013	06 39 18	2031	06 37 53	2049	06 40 25	2067	06 39 00
2014	06 38 20	2032	06 36 56	2050	06 39 27	2068	06 38 02
2015	06 37 23	2033	06 39 55	2051	06 38 30	2069	06 41 02
2016	06 36 25	2034	06 38 57	2052	06 37 32	2070	06 40 04
2017	06 39 24	2035	06 37 59	2053	06 40 31	2071	06 39 06
2018	06 38 27	2036	06 37 02	2054	06 39 33	2072	06 38 09
2019	06 37 29	2037	06 40 01	2055	06 38 36	2073	06 41 08
2020	06 36 32	2038	06 39 03	2056	06 37 38	2074	06 40 10
2021	06 39 31	2039	06 38 06	2057	06 40 37	2075	06 39 13
2022	06 38 34	2040	06 37 09	2058	06 39 40	2076	06 38 15
2023	06 37 37	2041	06 40 08	2059	06 38 43	2077	06 41 14
2024	06 36 40	2042	06 39 11	2060	06 37 46	2078	06 40 17
2025	06 39 39	2043	06 38 14	2061	06 40 45	2079	06 39 20
2026	06 38 42	2044	06 37 17	2062	06 39 49	2080	06 38 23
2027	06 37 45	2045	06 40 17	2063	06 38 52	2081	06 41 23

ومن ثم يمكننا تعيين الوقت النجمي المحلي LST بإضافة طول الراصد الشرقي وطرح الطول الغربي من الوقت النجمي لغرينتش GST، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه عند اللحظة التي يعبر فيها الجرم السماوي خط زوال الراصد فإن قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم تساوي 0^h أو 24^h، وبالتالي تكون قيمة الوقت النجمي المحلي LST حينئذ مساوية للمطلع المستقيم RA لهذا الجرم.

رقم اليوم من السنة البسيطة

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
335	305	274	244	213	182	152	121	91	60	32	**1**
336	306	275	245	214	183	153	122	92	61	33	**2**
337	307	276	246	215	184	154	123	93	62	34	**3**
338	308	277	247	216	185	155	124	94	63	35	**4**
339	309	278	248	217	186	156	125	95	64	36	**5**
340	310	279	249	218	187	157	126	96	65	37	**6**
341	311	280	250	219	188	158	127	97	66	38	**7**
342	312	281	251	220	189	159	128	98	67	39	**8**
343	313	282	252	221	190	160	129	99	68	40	**9**
344	314	283	253	222	191	161	130	100	69	41	**10**
345	315	284	254	223	192	162	131	101	70	42	**11**
346	316	285	255	224	193	163	132	102	71	43	**12**
347	317	286	256	225	194	164	133	103	72	44	**13**
348	318	287	257	226	195	165	134	104	73	45	**14**
349	319	288	258	227	196	166	135	105	74	46	**15**
350	320	289	259	228	197	167	136	106	75	47	**16**
351	321	290	260	229	198	168	137	107	76	48	**17**
352	322	291	261	230	199	169	138	108	77	49	**18**
353	323	292	262	231	200	170	139	109	78	50	**19**
354	324	293	263	232	201	171	140	110	79	51	**20**
355	325	294	264	233	202	172	141	111	80	52	**21**
356	326	295	265	234	203	173	142	112	81	53	**22**
357	327	296	266	235	204	174	143	113	82	54	**23**
358	328	297	267	236	205	175	144	114	83	55	**24**
359	329	298	268	237	206	176	145	115	84	56	**25**
360	330	299	269	238	207	177	146	116	85	57	**26**
361	331	300	270	239	208	178	147	117	86	58	**27**
362	332	301	271	240	209	179	148	118	87	59	**28**
363	333	302	272	241	210	180	149	119	88		**29**
364	334	303	273	242	211	181	150	120	89		**30**
365		304		243	212		151		90		**31**
Dec	**Nov**	**Oct**	**Sep**	**Aug**	**Jul**	**Jun**	**May**	**Apr**	**Mar**	**Feb**	**Jan**

رقم اليوم من السنة الكبيسة

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
336	306	275	245	214	183	153	122	92	61	32	**1**
337	307	276	246	215	184	154	123	93	62	33	**2**
338	308	277	247	216	185	155	124	94	63	34	**3**
339	309	278	248	217	186	156	125	95	64	35	**4**
340	310	279	249	218	187	157	126	96	65	36	**5**
341	311	280	250	219	188	158	127	97	66	37	**6**
342	312	281	251	220	189	159	128	98	67	38	**7**
343	313	282	252	221	190	160	129	99	68	39	**8**
344	314	283	253	222	191	161	130	100	69	40	**9**
345	315	284	254	223	192	162	131	101	70	41	**10**
346	316	285	255	224	193	163	132	102	71	42	**11**
347	317	286	256	225	194	164	133	103	72	43	**12**
348	318	287	257	226	195	165	134	104	73	44	**13**
349	319	288	258	227	196	166	135	105	74	45	**14**
350	320	289	259	228	197	167	136	106	75	46	**15**
351	321	290	260	229	198	168	137	107	76	47	**16**
352	322	291	261	230	199	169	138	108	77	48	**17**
353	323	292	262	231	200	170	139	109	78	49	**18**
354	324	293	263	232	201	171	140	110	79	50	**19**
355	325	294	264	233	202	172	141	111	80	51	**20**
356	326	295	265	234	203	173	142	112	81	52	**21**
357	327	296	266	235	204	174	143	113	82	53	**22**
358	328	297	267	236	205	175	144	114	83	54	**23**
359	329	298	268	237	206	176	145	115	84	55	**24**
360	330	299	269	238	207	177	146	116	85	56	**25**
361	331	300	270	239	208	178	147	117	86	57	**26**
362	332	301	271	240	209	179	148	118	87	58	**27**
363	333	302	272	241	210	180	149	119	88	59	**28**
364	334	303	273	242	211	181	150	120	89	60	**29**
365	335	304	274	243	212	182	151	121	90		**30**
366		305		244	213		152		91		**31**
Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan

الزاوية الساعية المحلية Local Hour Angle

طول القوس المقاس على خط الاستواء السماوي أو الزاوية عند القطب ابتداء من خط الزوال العلوي للراصد، وحتى خط الزوال المار بالجرم السماوي وتقاس من 0 ° وحتى 360 ° باتجاه الغرب كما يمكن التعبير عنها بوحدات زمنية، ويرمز لها بالرمز LHA. بمعنى أبسط تعتبر الزاوية الساعية بمثابة خط الطول الغربي للجرم السماوي.

خطوات حساب الزاوية الساعية المحلية LHA

- من التقاويم الفلكية استخرج قيمة المطلع المستقيم RA للجرم السماوي عند وقت غرينيتش المطلوب GMT.
- احسب الوقت النجمي لغرينتش GST عند وقت غرينيتش المطلوب GMT.
- اطرح المطلع المستقيم RA من الوقت النجمي لغرينتش GST للحصول على الزاوية الساعية لغرينيتش GHA للجرم السماوي.
- لتحويل الزاوية الساعية لغرينيتش GHA إلى الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي، اجمع طول الراصد الشرقي $Long_E$ واحذف طول الراصد الغربي $Long_W$.
- تنحصر قيمة الزاوية الساعية بين 0^h و 24^h فإذا جاءت قيمتها أكبر من 24^h فيجب حينها حذف 24^h، وإن جاءت قيمتها بالسالب فيجب حينها إضافة 24^h.
- يمكن تحويل الزاوية الساعية والوقت النجمي من وحدات زمنية إلى وحدات زاويّة بضربها في 15°.

<u>مثال</u>: أوجد قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA لنجم رأس الحواء Ras alhague يوم 22 May 2020 عند وقت غرينتش GMT 19^h 55^m 42^s لراصد في الموقع الجغرافي 29° 15′ N & 48° 00′ E إذا علمت أن المطلع المستقيم RA للنجم يعادل 17^h 35^m 53^s .

$$GST = GST_{2020} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 36^m\ 32^s + 0.0657098244 * 143 + 1.00273791 * 19^h\ 55^m\ 42^s$$

$$GST = 11^h\ 59^m\ 18^s$$

الزمن النجمي لغرينيتش GST	$11^h\ 59^m\ 18^s$	
المطلع المستقيم RA	$17^h\ 35^m\ 53^s$	-
الزاوية الساعية لغرينيتش GHA	$05^h\ 36^m\ 35^s$	-
24^h~	$18^h\ 23^m\ 25^s$	

الزاوية الساعية لغرينيتش GHA	$18^h\ 23^m\ 25^s$	
الطول الجغرافي للراصد $Long_E$	$03^h\ 12^m\ 00^s$	+
الزاوية الساعية المحلية LHA	$21^h\ 35^m\ 25^s$	

مثال: أوجد قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للشمس يوم 29 April 2020 عند وقت غرينتش GMT $15^h\ 30^m\ 12^s$ لراصد في الموقع الجغرافي 20° 29.9′ S & 43° 51.5′ W إذا علمت أن المطلع المستقيم RA للشمس في ذلك الوقت يعادل $02^h\ 29^m\ 31^s$.

$GST = GST_{2020} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 36^m\ 32^s + 0.0657098244 * 120 + 1.00273791 * 15^h\ 30^m\ 12^s$

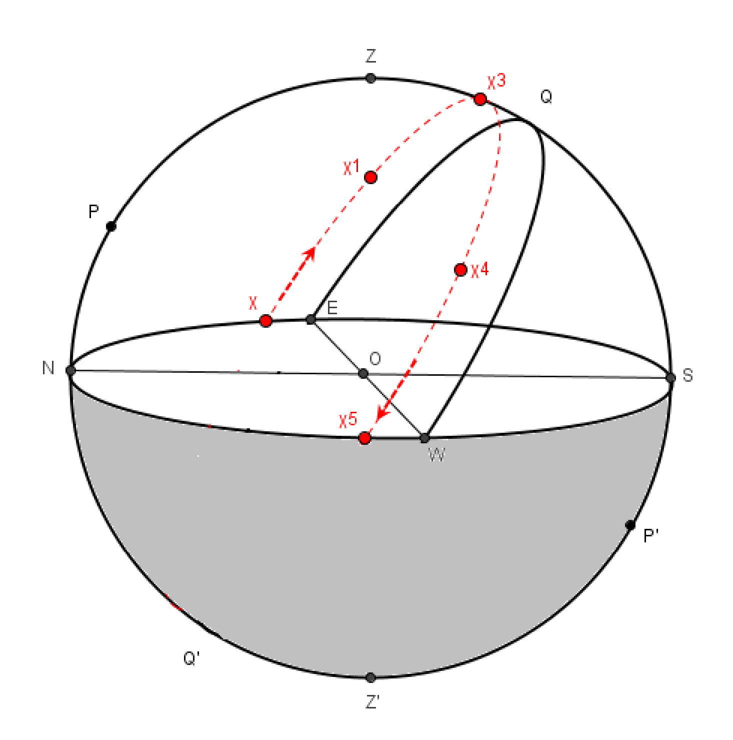
$GST = 06^h\ 02^m\ 23^s$

الزمن النجمي لغرينيتش GST	$06^h\ 02^m\ 23^s$	
المطلع المستقيم RA	$02^h\ 29^m\ 31^s$	-
الزاوية الساعية لغرينيتش GHA	$03^h\ 32^m\ 52^s$	

الزاوية الساعية لغرينيتش GHA	$03^h\ 32^m\ 52^s$	
الطول الجغرافي للراصد $Long_W$	$02^h\ 55^m\ 26^s$	-
الزاوية الساعية المحلية LHA	$00^h\ 37^m\ 26^s$	

العرض الجغرافي والعبور الزوالي

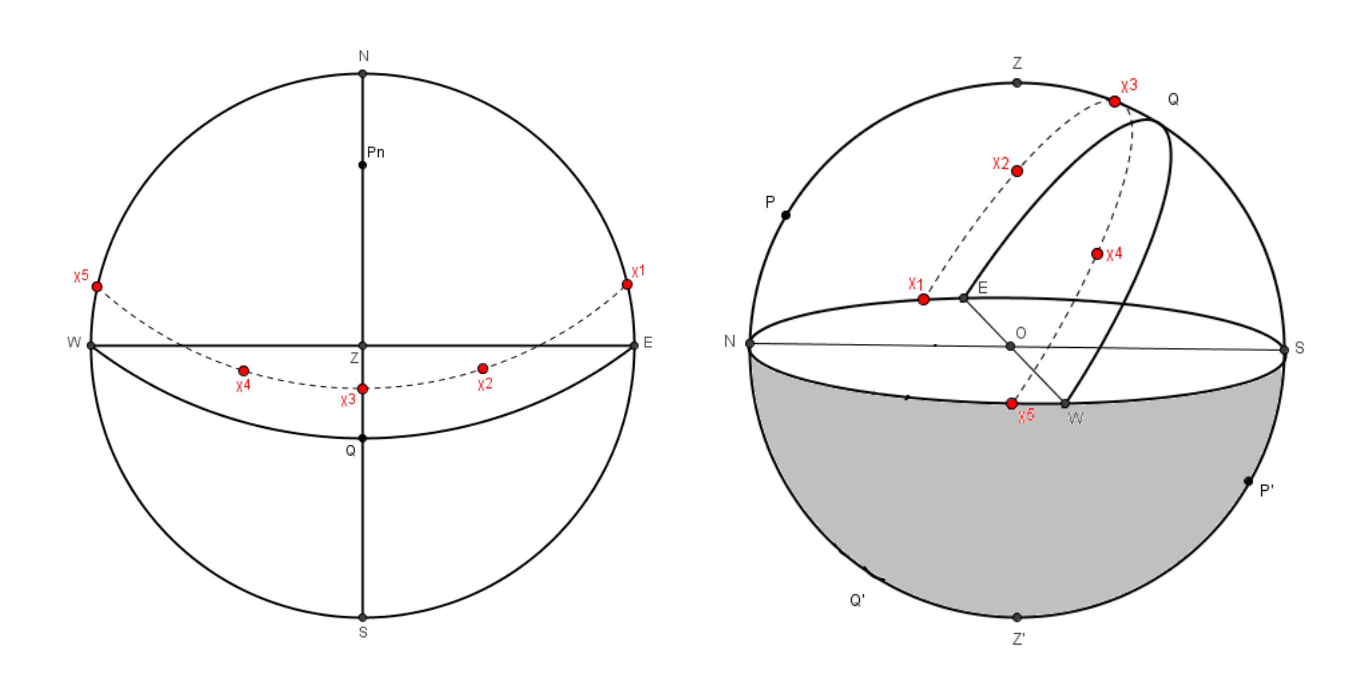
تعبر الاجرام السـماوية خط زوال الراصـد أثناء حركتها الظاهرية اليومية وعند لحظة عبورها تتكون علاقة بين خط عرض الراصد Lat وبين ميل الجرم السماوي Dec وارتفاعه الزوالي H وفيما يلي توضيح لهذه العلاقة: -



الشكل أعلاه يوضح الحركة الظاهرية اليومية للجرم السماوي X ذو الميل الشمالي كما يبدو لراصد شمالي حيث يبدأ بالشـروق عند X ليرتفع تدريجياً عن الأفق الشـرقي حتى يبلغ أقصى ارتفاع له فوق الأفق في X_3 حيث ارتفاعه الزوالي H وذلك لحظه عبوره خط زوال الراصـــد العلوي ثم يبدأ بعدها بالانخفاض تدريجياً باتجاه الأفق الغربي حتى يغرب عند X_5 .

- **PZP' خط زوال الراصد العلوي**
- **PZ'P' خط زوال الراصد السفلي**
- **ZQ خط عرض الراصد**
- **QX_3 الميل Dec ، PX_3 البعد القطبي P.D**
- **SX_3 الارتفاع الزوالي H ، ZX_3 البعد السمتي الزوالي mer.ZD**

الحالة الأولى: الميل والبعد السمتي الزوالي بنفس الإشارة



الجرم السماوي X على خط الزوال العلوي للراصد عند X_3، وهو باتجاه الجنوب فيكون بعده السمتي الزوالي mer.ZD شمالي، وهو ذو ميل .Dec شمالي بنفس إشارة بعده السمتي.

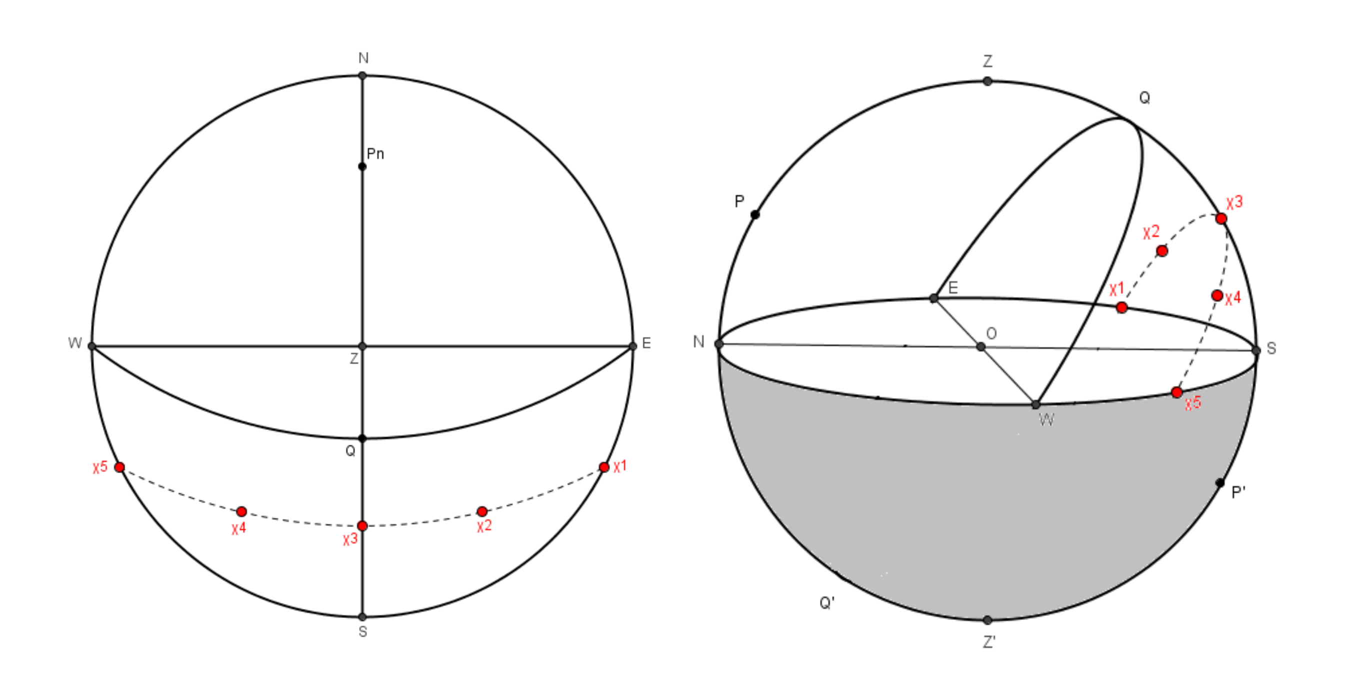
- الميل بنفس إشارة البعد السمتي

$$ZQ = ZX_3 + QX_3$$

$$Lat = mer.ZD + Dec$$

الحالة الثانية : الميل بخلاف إشارة البعد السمتي

البعد السمتي أكبر من الميل



الجرم السماوي X على خط الزوال العلوي للراصد عند X_3، وهو باتجاه الجنوب فيكون بعده السمتي الزوالي mer.ZD شمالي، وهو ذو ميل .Dec جنوبي بعكس إشارة بعده السمتي.

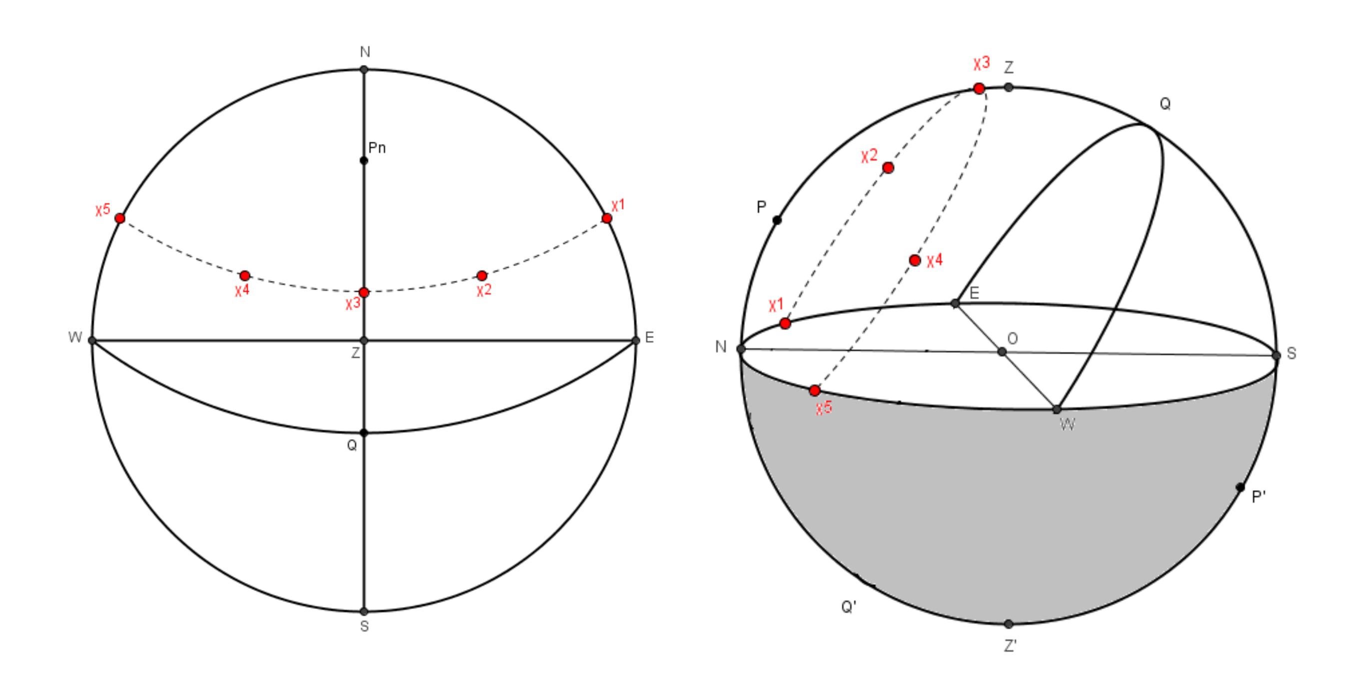
- **الميل بعكس إشارة البعد السمتي**
- **البعد السمتي أكبر من الميل**

$$ZQ = ZX_3 - QX_3$$

$$Lat = mer.ZD - Dec$$

الحالة الثالثة: الميل بخلاف إشارة البعد السمتي

الميل أكبر من البعد السمتي



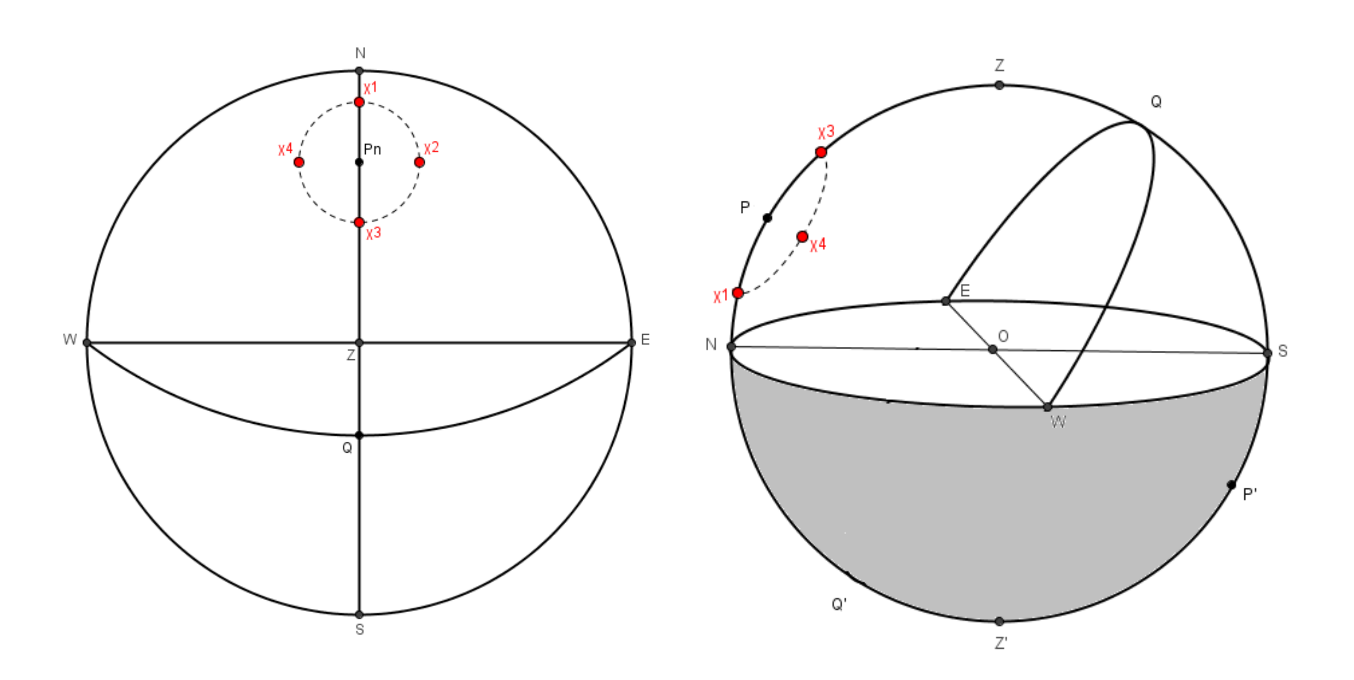
الجرم السماوي X على خط الزوال العلوي للراصد عند X_3، وهو باتجاه الشمال فيكون بعده السمتي الزوالي mer.ZD جنوبي، وهو ذو ميل .Dec شمالي بعكس إشارة بعده السمتي.

- الميل بعكس إشارة البعد السمتي
- الميل أكبر من البعد السمتي

$$ZQ = QX_3 - ZX_3$$

$$Lat = Dec - mer.ZD$$

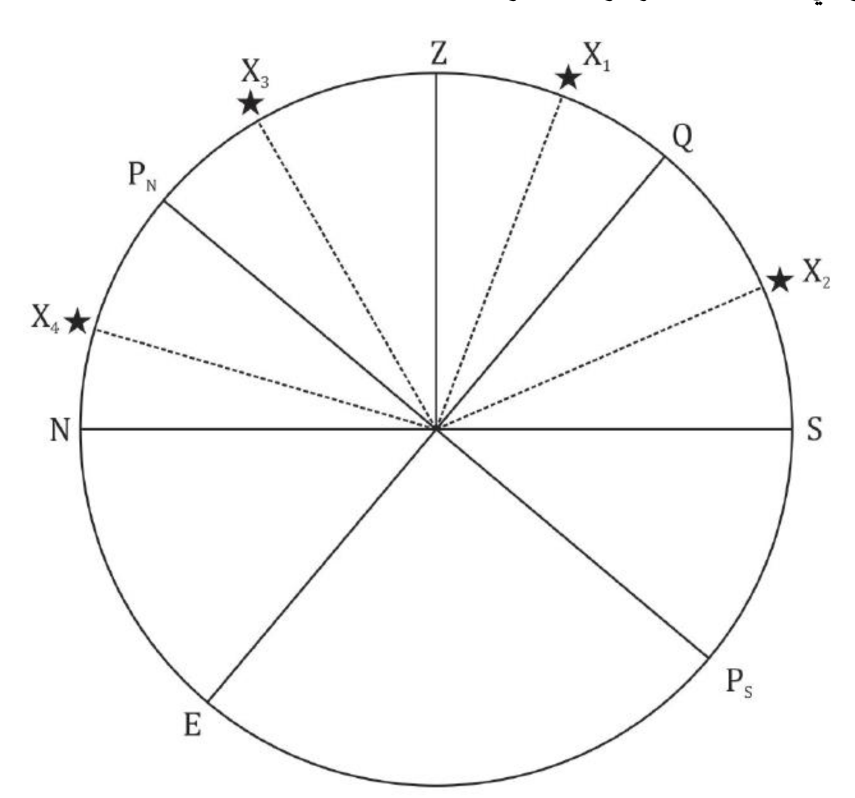
الحالة الرابعة: عبور الجرم السماوي خط الزوال السفلي للراصد



في الشكل العلوي يعبر الجرم السماوي خط زوال الراصد العلوي PZP' عند X_3 بينما عند X_1 يعبر نفس الجرم خط زوال الراصد السفلي PZ'P' وفي هذه الحالة وللتمييز بين الارتفاعين فإننا نسمي الارتفاع الأول باسم الارتفاع الزوالي العلوي .Upper mer.alt وهو نفسه الارتفاع الزوالي H بينما نسمي الارتفاع الثاني باسم الارتفاع الزوالي السفلي .Lower mer.alt ونرمز له بالرمز H' .

Lat = 180° – (Dec + mer.ZD)
Lat = H' + (90° - Dec)
Lat = H' + PD
Lat = (H + H') ÷ 2

وهذه الحالات الأربع الســابقة تشــمل جميع طرق إيجاد عرض المكان من خلال رصــد ارتفاع الجرم الســماوي عند لحظة عبوره خط زوال الراصد، ومن المهم فهم العلاقات الرياضية السابقة الخاصة بإيجاد عرض المكان في الحالات المختلفة للمرور الزوالي بالاستعانة بالرسومات التوضيحية.



خط العرض Lat	الحالة	الميل Dec	البعد السمتي ZD	الجرم
Lat = ZD + Dec	الميل بنفس إشارة البعد السمتي	شمالي N	شمالي N	X_1
Lat = ZD - Dec	الميل بخلاف إشارة البعد السمتي ZD > Dec	جنوبي S	شمالي N	X_2
Lat = Dec - ZD	الميل بخلاف إشارة البعد السمتي Dec > ZD	شمالي N	جنوبي S	X_3
Lat = 180 – (Dec + ZD) Lat = H′ + (90 – Dec) Lat = H′ + PD	الجرم يعبر خط الزوال السفلي	شمالي N	جنوبي S	X_4

وبغض النظر عن الجرم السماوي المستخدم في هذا التطبيق سواء كان الشمس أو أحد الكواكب أو النجوم أو حتى القمر تبقى النقطة الأهم هي معرفة متى يكون هذا الجرم على خط الزوال؟ وهناك عدة طرق لمعرفة ذلك: -

الطريقة الأولى: رصد ارتفاع الجرم السماوي عندما يوشك على عبور خط الزوال العلوي للراصد والاستمرار بأخذ الرصدات على فترات قصيرة متقاربة مع تسجيل الوقت عند كل رصدة إلى أن يبدأ الارتفاع بالتناقص فبمجرد حدوث ذلك نأخذ أعلى قيمة ارتفاع تم رصدها للجرم السماوي مع وقت تلك الرصدة فذلك هو الارتفاع الزوالي للجرم .

وبالرغم من أن هذه الطريقة لا تعتبر من الطرق الدقيقة في معرفة اللحظة التي يعبر عندها الجرم السماوي لخط زوال الراصد إلا أنها تستخدم في بعض الظروف.

الطريقة الثانية: وهي مشابهة للطريقة الأولى فيما يتعلق برصد ارتفاع الجرم السماوي عندما يوشك على عبور خط الزوال شريطة أن نفصل بين هذه الرصدات بفترات زمنية متساوية ولنفرض خمسة دقائق كما يفضل رصد ثلاثة رصدات بحيث تكون الرصدة الأخيرة بعد عبور الجرم السماوي خط الزوال ثم وبطريقة التعديل بين السطرين يمكننا معرفة أقصى ارتفاع بلغه هذا الجرم فذلك هو الارتفاع الزوالي ،وبنفس الطريقة كذلك يمكننا معرفة وقت هذا الارتفاع ،وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الجيدة في معرفة اللحظة التي يعبر عندها الجرم السماوي خط الزوال.

الطريقة الثالثة: متابعة اتجاه الجرم السماوي عندما يقترب من عبوره خط الزوال العلوي باستخدام البوصلة إلى أن تصبح زاوية الجرم السمتيه باتجاه الشمال °000 أو الجنوب °180 تماماً فعند هذه اللحظة يكون الجرم على خط الزوال فنأخذ ارتفاعه ونسجل وقت الرصد.

ويوصى عند استخدام هذه الطريقة بالتأكد من دقة البوصلة وإضافة التصحيحات اللازمة لقراءات الاتجاهات المرصودة من خلالها كما يوصى كذلك باختيار الاجرام السماوية ذات الارتفاعات المنخفضة نسبياً وتجنب المرتفعة فذلك يعطي نتائج أكثر دقة فيما يتعلق برصد الاتجاه.

الطريقة الرابعة: باستخدام جهاز الثيودولايت وتوجيهه باتجاه خط الزوال تماماً وتثبيت حركته الأفقية بحيث يتطابق المؤشر الرأسي لمنظار الجهاز مع خط الزوال ما يعني بأن تلك الاجرام السماوية التي تظهر من خلال منظار الجهاز وهي تقطع مؤشره الرأسي هي نظرياً تعبر خط الزوال وبذلك يبقى على الراصد توجيه المنظار رأسياً إلى الأعلى أو إلى الأسفل حتى يجعل الجرم عند منتصف المنظار حيث مركز تقاطع خطي المؤشر وأخذ قراءة الارتفاع الزوالي مع تسجيل الوقت.

ويمكن ضبط جهاز الثيودولايت باتجاه خط الزوال وتثبيته بعد معرفة أين يكون هذا الخط الزوالي؟ وهناك عدة طرق لتحديد خط الزوال: -

- **اتجاه لارتفاعين متساويين لنجم: أخذ اتجاه نجم محدد قبل عبوره خط الزوال عندما يكون على ارتفاع معين ثم نعود لأخذ اتجاهه مره أخرى بعد عبوره خط الزوال عندما يصل الى نفس الارتفاع الأول ثم ننصف الزاوية الأفقية بين الاتجاهين فيكون هو اتجاه خط الزوال.**
- **اتجاه جرم سماوي: نحسب اتجاه الجرم السماوي عند وقت محدد ثم نوجه جهاز الثيودولايت للجرم عند ذلك الوقت ونصفّر الجهاز، ومن ثم نديره أفقيا باتجاه الشمال بقيمة درجة اتجاه الجرم فيكون الجهاز حينها مواجه لخط الزوال.**
- **عبور الجرم على الدائرة الرأسية الأولى: حساب الوقت الذي يصنع عنده الجرم السماوي زاوية اتجاه مقدارها 90 درجة مع اتجاه الشمال، وذلك عند اللحظة التي يقطع فيها الدائرة الراسية الأولى جهة المشرق أو المغرب بحيث نوجه الجهاز حينها باتجاه الجرم ثم نديره أفقيا باتجاه الشمال بزاوية عمودية فيكون الجهاز حينها مواجه لخط الزوال، ولا بد من أن يكون ميل الجرم أصغر من العرض وبنفس الإشارة.**
- **أقصى استطالة لنجم: حساب الوقت الذي يكون فيه النجم في أقصى زاوية سمتيه له شرقية أو غربية فعند تلك اللحظة نوجه الجهاز باتجاه الجرم ثم نديره أفقيا باتجاه الشمال بمقدار قيمة زاويته السمتيه فيكون الجهاز حينها مواجه لخط الزوال، ولابد أولاً من التحقق فيما إذا كان الجرم السماوي سيحقق الشرط المطلوب لحصول ذلك، وهو أن يكون الميل أكبر من العرض وبنفس الإشارة.**

- بدلالة الموضع النسبي لكل من النجمين أنور الفرقدين Kochab، والجدي Polaris. حيث أنه إذا كان نجم أنور الفرقدين يقع مباشرة أعلى أو أسفل نجم الجدي بحيث يكون الخط المستقيم الواصل بينهما عمودياً على مستوى الأفق. فإن نجم الجدي Polaris حينئذ سيكون تقريباً واقعاً على خط الزوال المحلي للراصد، وتمتاز هذه الطريقة بعدم حاجتك إلى إجراء الحسابات المسبقة. فكل ما يتطلبه الأمر هو مراقبة وانتظار الوقت الذي يتحقق عنده الموضع النسبي المطلوب للنجمين.
- انحراف نجم القطب: حساب مقدار انحراف اتجاه نجم القطب الشمالي عن القطب ثم توجيه الجهاز لنجم القطب وإدارته أفقياً بمقدر درجة الانحراف ليكون الجهاز حينها في مواجهة خط الزوال وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الدقيقة في تحديد خط الزوال.

نلاحظ بأن طريقة تحديد خط الزوال بواسطة اتجاه لارتفاعين متساويين لنجم معين، وطريقة الموضع النسبي لكل من النجمين أنور الفرقدين Kochab، والجدي Polaris. من الطرق التي لا تتطلب اجراء الحسابات الفلكية، أو المعرفة المسبقة بقيمة كل من عرض المكان وطوله، وبالرغم من ذلك ارتأينا أن نذكر بقية الطرق من أجل استخدامها في تطبيقات فلكية أخرى.

الطريقة الخامسة: وهي طريقة تستخدم لمعرفة وقت العبور الزوالي للنجوم التي لم تعبر خط الزوال بعد، وذلك بأخذ فرق المطالع المستقيمة بين مطلع النجم المطلوب ومطلع الشمس، وإضافته إلى وقت زوال الشمس الذي هو وقت الظهر بعد قسمته على 1.00273791 لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط، للحصول على وقت العبور الزوالي للنجم المطلوب.

الطريقة السادسة: معرفة وقت العبور الزوالي مسبقاً وهذه أدق الطرق المستخدمة في رصدة الزوال وهي تتطلب معرفة طول المكان من أجل حساب الزمن النجمي المحلي بالإضافة إلى معرفة المطلع المستقيم للجرم السماوي من أجل حساب قيمة الزاوية الساعية المحلية لذلك الجرم، والتي من خلالها يمكن معرفة الوقت الدقيق لعبور الجرم السماوي خط الزوال، وعند ذلك الوقت تحديداً يتم رصد ارتفاع الجرم السماوي.

التعرف على النجوم

هناك العديد من مخططات وخرائط التعرف والبحث عن النجوم، ومع ذلك يمكنك استخدام معادلات درجة الارتفاع وزاوية السمت المرصودين باستخدام الأجهزة من أجل مساعدتك في التعرف على النجوم وتحديدها. هذا ينطبق على مجموعة من النجوم سنقوم بإدراج جدول يوضح بيانات مواقعها على الكرة السماوية.

نحصل على درجة ميل النجم Dec من المعادلة: -

$$Sin(Dec) = Sin(h)Sin(Lat) + Cos(h)Cos(Lat)Cos(Az)$$

إذا كان الميل (+) فهو شمالي، بينما إذا (-) فهو جنوبي.

حيث تمثل Az زاوية السمت التقريبية (ارصدها باستخدام البوصلة المغناطيسية)، Lat هو خط العرض، وh هي زاوية الارتفاع (لا تهتم بتصحيحات الانكسار والانخفاض).

بينما للحصول على الزاوية الساعة المحلية LHA للنجم نستخدم المعادلة: -

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

إذا كانت الزاوية السمتية Az أكبر من 180 درجة، فإن LHA = LHA

بينما إذا كانت الزاوية السمتية Az أقل من 180 درجة، فإن LHA = LHA ـ 360°

ثم نحسب المطلع المستقيم RA للنجم من خلال العلاقة الرياضية: -

RA = LST – LHA

بمجرد حصولك على عناصر الإحداثيات الاستوائية Dec , RA، يمكنك البحث عنها في جدول بيانات مواقع النجوم لمطابقتها مع أقرب الأرقام. حيث تشير مقادير النجوم إلى سطوعها عدديًا، فكلما زاد الرقم خفت سطوع النجم. فالنجوم الأكثر سطوعًا لها مقادير سالبة، مثل نجم الشعرى اليمانية Sirius (ألمع النجوم) الذي يبلغ قدره الظاهري -1.46

قياس درجة الميل والمطلع المستقيم بالرصد الفلكي

يمكن معرفة الإحداثيات الاستوائية للشمس والنجوم تحديداً بطريقة الرصد الفلكي، وذلك عند لحظة عبور هذه الاجرام السماوية لخط زوال الراصد فإن الخطوات المتبعة لقياس درجة الميل والمطلع المستقيم تكون على النحو التالي: -

- ارصد ارتفاع الشمس لحظة عبورها خط الزوال المحلي، وسجل وقت العبور الزوالي t_1.
- صحح الارتفاع الزوالي للحصول على الارتفاع الزوالي الحقيقي H.
- احسب البعد السمتي الزوالي mer.ZD بمعلومية الارتفاع الزوالي الحقيقي H .
- استخرج ميل Dec الشمس بمعلومية عرض الراصد Lat و البعد السمتي الزوالي mer.ZD .
- باستخدام المعادلة الرياضية وبمعلومية الميل الكلي ε، وميل Dec الشمس نستخرج المطلع المستقيم RA للشمس، والذي يعادل الزمن النجمي المحلي LST عند هذه اللحظة.

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\ (Y - 2000)\ /\ 3600]$$

$$Sin(RA) = Tan(Dec) \div Tan(\varepsilon)$$

- حدد النجم المطلوب لحظة عبوره خط الزوال، وارصد بعده السمتي الزوالي mer.ZD ووقت عبوره t_2.
- خذ الفرق بين وقت العبورين واضرب الناتج في 1.00273791 ثم أضف الحاصل على المطلع المستقيم RA للشمس يحصل المطلع المستقيم RA للنجم المطلوب.

$$\Delta t = t_2 \sim t_1$$

$$RA_{Star} = (\Delta t \times 1.00273791) + RA_{Sun}$$

- استخرج ميل Dec النجم بمعلومية عرض الراصد Lat و بعده السمتي الزوالي mer.ZD .
- كرر الخطوات مع النجوم المطلوبة التالية في العبور الزوالي تباعاً لقياس مطالعها المستقيمة وميولها.

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT\ 08^h\ 45^m\ 56^s$ من يوم 01 June 2020 تم رصد ارتفاع الشمس لحظة عبورها خط زوال الراصد E °048 & N ′15 °29 فكان ارتفاعها الزوالي الحقيقي H يعادل ′53.1 °82 احسب ميل الشمس ومطلعها.

H_{Sun}	82° 53.1′	S
~	90°	
--		
$mer.ZD_{Sun}$	07° 06.9′	N

$mer.ZD_{Sun}$	07° 06.9′	N
Lat. ~	29° 15.0′	N
--		
$Dec._{Sun}$	22° 08.1′	N

OR

Dec = Lat - 90° - H

Dec = 29° 15.0′ - 90° - (- 82° 53.1′)

Dec = 29° 15.0′ - 90° + 82° 53.1′

Dec = 22° 08.1′ N

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\,(Y - 2000)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 21.448'' - [0.4684\,(2020 - 2000)\,/\,3600]$$

$$\varepsilon = 23^\circ\ 26'\ 12''$$

$$Sin(RA) = Tan(Dec) \div Tan(\varepsilon)$$

$$Sin(RA) = Tan(22^\circ\ 08'\ 06'') \div Tan(23^\circ\ 26'\ 12'')$$

$$RA = 69^\circ\ 46'\ 29'' \qquad \div 15^\circ$$

$$RA = 04^h\ 39^m\ 06^s$$

ثم و عند وقت غرينتش $17^h\ 31^m\ 37^s$ GMT من نفس اليوم قام الراصـد برصـد ارتفاع نجم السـماك الأعزل Spica لحظة عبوره خط الزوال جهة الجنوب فكان ارتفاعه الزوالي الحقيقي H يعادل $49°\ 29'$ احسـب ميل النجم .Dec ومطلعه المستقيم RA بحسب معطيات الرصدة الأولى.

H_{Star}	$49°\ 29.0'$	S
~	$90°$	
--		
$mer.ZD_{Star}$	$40°\ 31.0'$	N

$mer.ZD_{Star}$	$40°\ 31.0'$	N
Lat. ~	$29°\ 15.0'$	N
--		
$Dec._{Star}$	$11°\ 16.0'$	S

OR

$$Dec = Lat - 90° - H$$

$$Dec = 29°\ 15.0' - 90° - (-49°\ 29.0')$$

$$Dec = 29°\ 15.0' - 90° + 49°\ 29.0'$$

$$Dec = -11°\ 16.0'\ S$$

$$\Delta t = t_2 \sim t_1$$

$$\Delta t = 17^h\ 31^m\ 37^s \sim 08^h\ 45^m\ 56^s$$

$$\Delta t = 08^h\ 45^m\ 41^s$$

$$RA_{Star} = (\Delta t \times 1.00273791) + RA_{Sun}$$

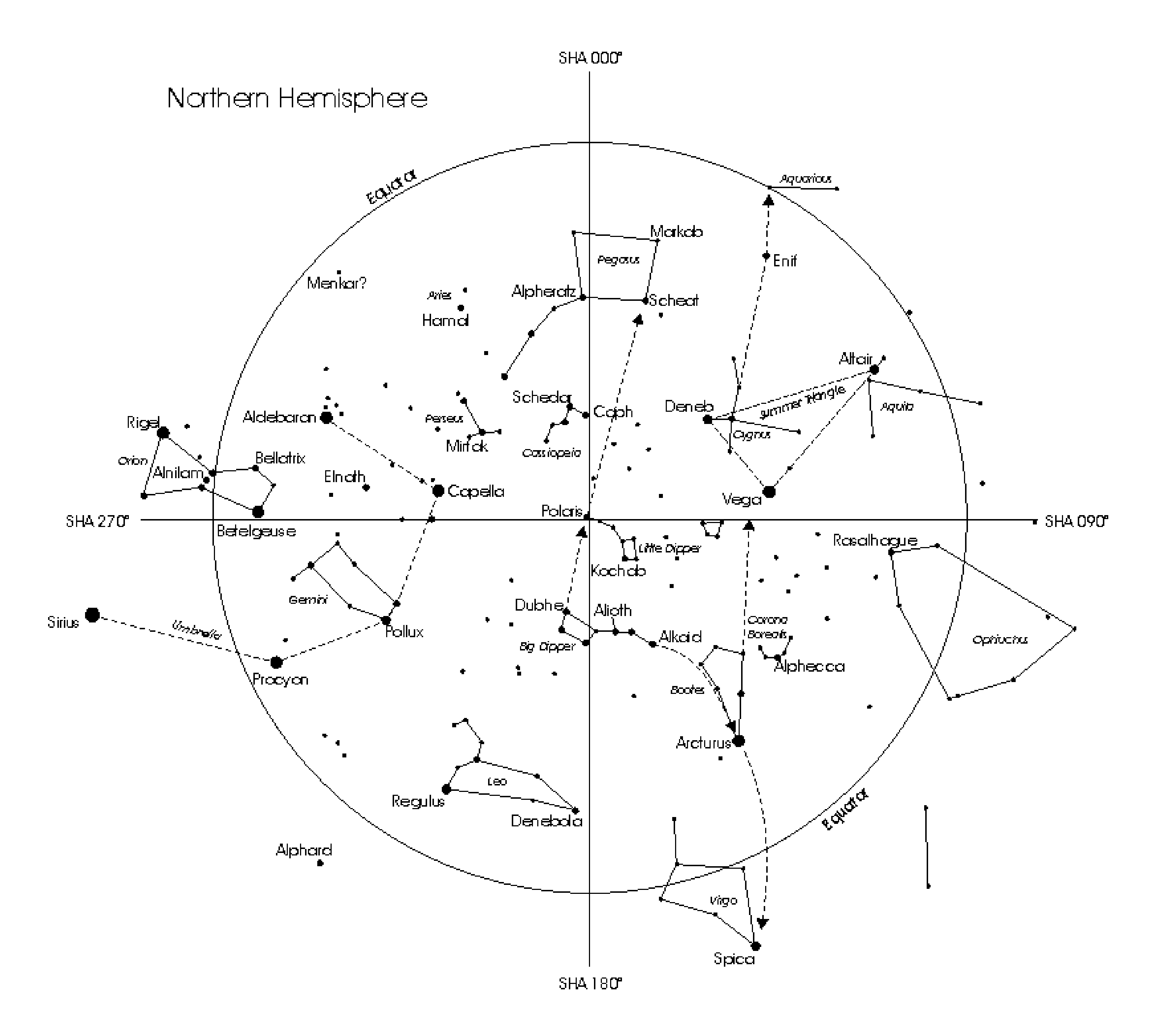
$$RA_{Star} = (08^h\ 45^m\ 41^s \times 1.00273791) + 04^h\ 39^m\ 06^s$$

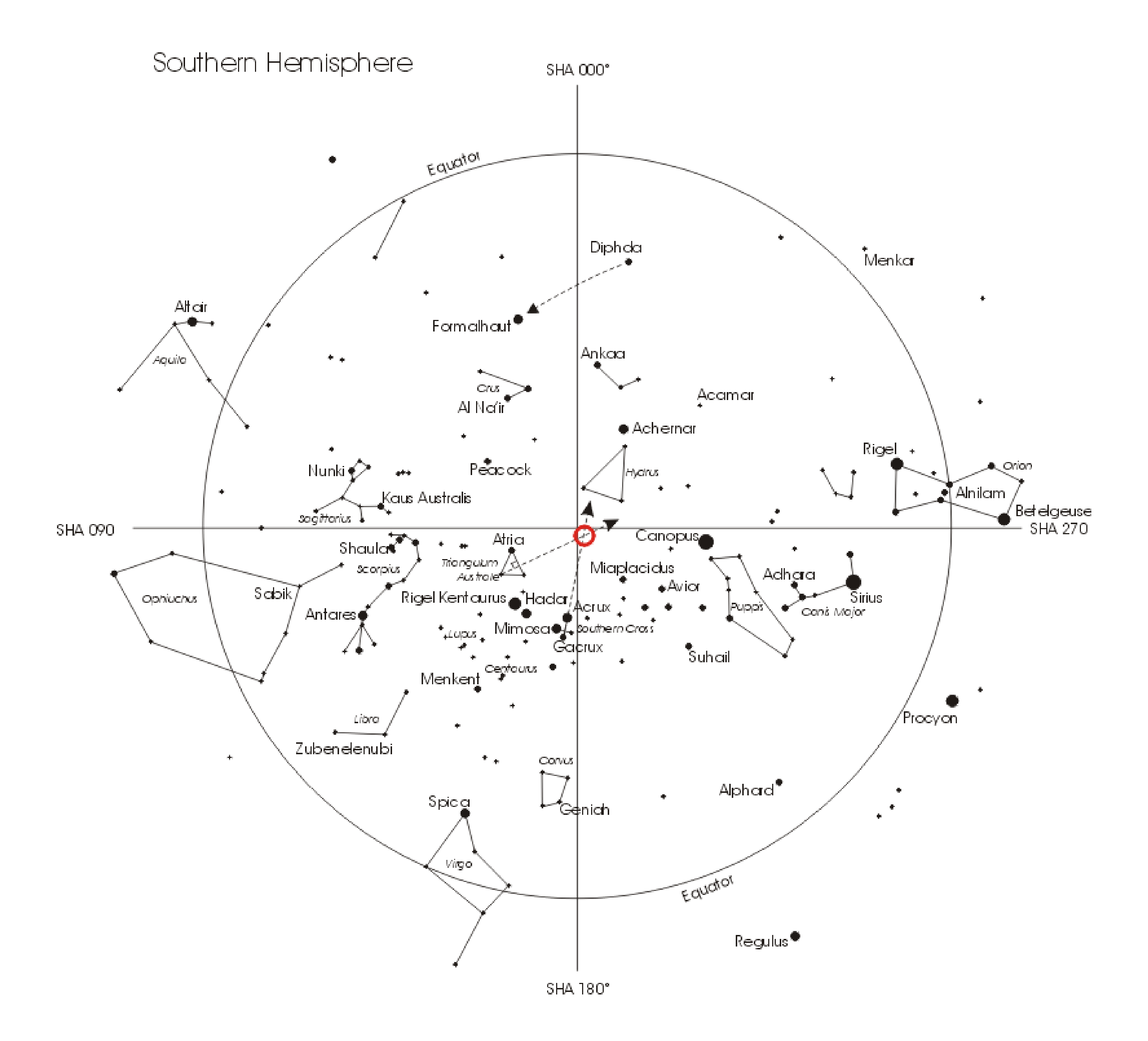
$$RA_{Star} = (08^h\ 47^m\ 07^s) + 04^h\ 39^m\ 06^s$$

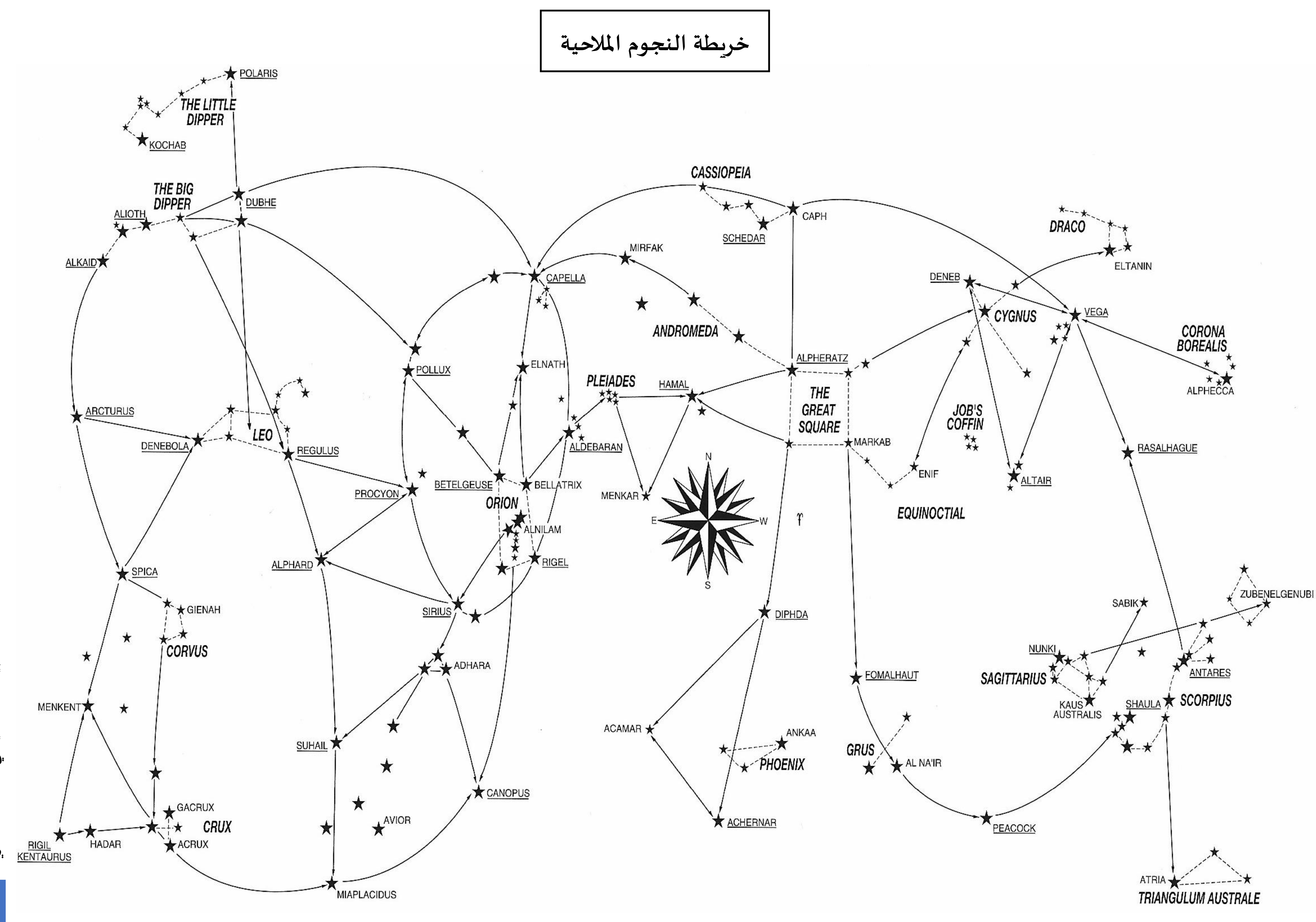
$$RA_{Star} = 13^h\ 26^m\ 13^s$$

Star Name		RA		Dec			App.
		°	'	°	'		mag.
Acamar	الظليم	44	46.3	40	12.8	S	3.24
Achernar	آخر النهر	24	37.8	57	7.2	S	0.46
Adhara	عذارى	104	52.1	29	0.2	S	1.50
Albireo	منقار الدجاجة	292	54.6	28	0.3	N	3.08
Aldebaran	الدبران	69	17.6	16	33.2	N	0.85
Alnitak	النطاق	85	27.7	01	55.9	S	2.03
Algieba	جبهة الأسد	155	17.7	19	43.8	N	2.61
Algol	رأس الغول	47	24	41	2.3	S	2.12
Alkaid	القائد	207	6.6	49	12.4	N	1.86
Almack	عناق الأرض	31	18.7	42	26	N	2.26
Al nair	النير	332	24.6	46	51	S	1.74
Alnilam	النظام	84	19.8	1	11.3	S	1.70
Alphard	الفرد	142	10	8	45.4	S	1.98
Alphecca	الفكة	233	54.8	26	38.5	N	2.23
Alpheratz	سرة الفرس	2	23	29	12.6	N	2.06
Altair	النسر الطائر	297	58.3	8	55.6	N	0.77
Ankaa	العنقاء	6	50.6	42	10.9	S	2.39
Antares	قلب العقرب	247	41.9	26	28.9	S	0.96
Arcturus	السماك الرامح	214	10.4	19	4.1	N	-0.04
Alioth	الجون / الإلية	193	45.3	55	50.6	N	1.77
Bellatrix	الناجذ	81	34.5	6	22.1	N	1.64
Betelgeuse	منكب الجوزاء	89	5.3	7	24.6	N	0.50
Canopus	سهيل	96	6.1	52	42.5	S	-0.72
Capella	العيوق	79	34.5	46	1.1	N	0.08
Caph	الكف الخضيب	2	35.2	59	16	N	2.27
Castor	رأس التوأم المقدم	113	59.9	31	50.4	N	1.98
Deneb	الردف	310	33.1	45	21.4	N	1.25
Denebola	الصرفة	177	32.9	14	27	N	2.14
Diphda	ذنب قيطس الجنوبي	11	10.5	17	51.8	S	2.04
Dubhe	الدبة	166	16.3	61	38.1	N	1.80
Elnath	النطح	81	55	28	37.5	N	1.65
Eltanin	التنين	269	17.4	51	29.1	N	2.23

Star Name		RA		Dec			App.
		°	'	°	'		mag.
Enif	أنف الفرس	326	19.3	9	58.5	N	2.39
Fomalhaut	فم الحوت	344	43.2	29	30.1	S	1.16
Gacrux	جاما صليب الجنوب	188	6.2	57	14.5	S	1.63
Gienah Ghurab	جناح الغراب	184	14.3	17	40	S	2.59
Hadar	حضار	211	21.4	60	29	S	0.61
Hamal	الناطح	32	6.2	23	33.9	N	2.00
Kaus Australis	القوس الجنوبي	276	25.1	34	22.4	S	1.85
Kochab	أنور الفرقدين	222	41.1	74	4	N	2.08
Markab	متن الفرس	346	28	15	19.4	N	2.49
Menkar	المنخر	45	51.4	4	10.6	N	2.53
Menkent	منكب القنطور	212	0.2	36	28.9	S	2.06
Merak	المراق	165	47.5	56	16.1	N	2.37
Mintaka	المنطقة	83	16.7	00	17	S	2.23
Mirfak	مرفق الثريا	51	28.3	49	56.2	N	1.79
Mizar	المئزر	201	12.6	54	48.8	N	2.27
Peacock	الطاووس	306	51.4	56	39.6	S	1.94
Phact	فاختة	85	6.4	34	3.7	S	2.64
Pollux	رأس التوأم المؤخر	116	39.8	27	58.4	N	1.14
Procyon	الشعرى الشامية	115	6.6	5	10.1	N	0.38
Rasalhague	رأس الحواء	263	59.8	12	32.6	N	2.08
Regulus	المليك	152	23.2	11	51.6	N	1.35
Rigel	رجل الجبار	78	53.7	8	10.6	S	0.12
Rigil Kentaurus	رجل القنطور	220	18.7	60	55.8	S	-0.01
Saiph	سيف	87	11.8	9	39.7	S	2.06
Schedar	صدر ذات الكرسي	10	26.4	56	39.3	N	2.23
Deneb Algiedi	ذنب الجدي	327	4.1	16	1.5	S	2.85
Shaula	الشولة	263	47.2	37	7.2	S	1.63
Sirius	الشعرى اليمانية	101	31.5	16	44.8	S	-1.46
Spica	السماك الأعزل	201	35.6	11	16.7	S	0.98
Al Suhail	سهيل الوزن	137	11.9	43	31.5	S	2.21
Vega	النسر الواقع	279	25.7	38	48.2	N	0.03
Polaris	الجدي	44	33.4	89	21.2	N	2.02


SHA 000°
Northern Hemisphere
Equator
Aquarious
Markab
Pegasus
Enif
Menkar?
Aries
Hamal
Alpheratz
Scheat
Altair
Schedar
Caph
Deneb
Summer Triangle
Aquila
Rigel
Aldebaran
Perseus
Mirfak
Cygnus
Cassiopeia
Orion
Bellatrix
Alnilam
Elnath
Capella
Vega
SHA 270°
Polaris
SHA 090°
Betelgeuse
Little Dipper
Rasalhague
Kochab
Gemini
Dubhe
Alioth
Corona Borealis
Sirius
Umbrella
Pollux
Alkaid
Ophiuchus
Big Dipper
Alphecca
Procyon
Bootes
Arcturus
Leo
Regulus
Denebola
Equator
Alphard
Virgo
Spica
SHA 180°


Southern Hemisphere
SHA 000°
SHA 090
SHA 270
SHA 180°
Equator
Equator
Diphda
Menkar
Altair
Aquila
Formalhaut
Ankaa
Crus
Al Na'ir
Acamar
Achernar
Rigel
Orion
Nunki
Peacock
Hydrus
Alnilam
Kaus Australis
Betelgeuse
Sagittarius
Atria
Canopus
Shaula
Triangulum Australe
Miaplacidus
Scorpius
Adhara
Ophiuchus
Sabik
Avior
Rigel Kentaurus
Hadar
Sirius
Acrux
Puppis
Canis Major
Antares
Mimosa
Southern Cross
Lupus
Gacrux
Suhail
Centaurus
Menkent
Procyon
Libra
Zubenelenubi
Corvus
Alphard
Spica
Geniah
Virgo
Regulus


خريطة النجوم الملاحية
POLARIS
THE LITTLE DIPPER
KOCHAB
THE BIG DIPPER
DUBHE
ALIOTH
ALKAID
CASSIOPEIA
CAPH
SCHEDAR
DRACO
ELTANIN
MIRFAK
CAPELLA
DENEB
CYGNUS
VEGA
ANDROMEDA
CORONA BOREALIS
ALPHECCA
POLLUX
ELNATH
PLEIADES
HAMAL
ALPHERATZ
THE GREAT SQUARE
JOB'S COFFIN
ARCTURUS
DENEBOLA
LEO
REGULUS
ALDEBARAN
MARKAB
RASALHAGUE
ENIF
ALTAIR
PROCYON
BETELGEUSE
BELLATRIX
ORION
MENKAR
N
E
W
S
EQUINOCTIAL
ALNILAM
ALPHARD
RIGEL
SPICA
GIENAH
SIRIUS
DIPHDA
SABIK
ZUBENELGENUBI
CORVUS
ADHARA
NUNKI
SAGITTARIUS
FOMALHAUT
ANTARES
KAUS AUSTRALIS
SHAULA
SCORPIUS
MENKENT
SUHAIL
ACAMAR
ANKAA
PHOENIX
GRUS
AL NA'IR
CANOPUS
GACRUX
CRUX
AVIOR
ACHERNAR
PEACOCK
RIGIL KENTAURUS
HADAR
ACRUX
MIAPLACIDUS
ATRIA
TRIANGULUM AUSTRALE

الأوضاع الخاصة للأجرام السماوية

تتحدد طبيعة الحركة اليومية الظاهرية للأجرام السماوية، وكذلك مواضعها في السماء بالنسبة إلى افق الراصد بناءً على عاملين رئيسيين، وهما درجة ميل Dec الجرم السماوي، ودرجة خط عرض Lat الراصد. فيما يلي نذكر أهم هذه الأوضاع التي يمكن أن يكون فيها الجرم السماوي أثناء حركته اليومية الظاهرية، وشروط تحققها: -

1. الجرم السماوي الدوار حول القطب $Dec > 90° – Lat$. فإذا كانت إشارة الميل موافقة لإشارة العرض يكون الجرم دواراً حول القطب المرتفع فلا يغرب أبداً، بينما إذا اختلفا في الإشارة يكون الجرم دواراً حول القطب المنخفض فلا يشرق أبداً.
2. من أجل أن تتحقق ظاهرة الشروق والغروب بالنسبة إلى جرم سماوي $Dec + Lat < 90°$، فإذا كانت إشارة الميل موافقة لإشارة العرض تكون فترة تواجد الجرم فوق الأفق أكبر من فترة تواجده أسفل الافق، بينما إذا اختلفا في الإشارة تكون فترة تواجد الجرم أسفل الأفق أكبر من فترة تواجده فوق الافق.
3. حتى يشرق الجرم السماوي من نقطة الشرق، ويغرب عند نقطة الغرب $Dec = 0°$.
4. أقصى ميل جنوبي لجرم سماوي يمكن معه مشاهدته من خط عرض شمالي $Dec = Lat – 90°$.
5. حتى يقطع الجرم السماوي اثناء حركته الدائرة الرأسية الأولى $Dec < Lat$ وبنفس الإشارة.
6. حتى يعبر الجرم السماوي اثناء حركته نقطة سمت الرأس $Dec = Lat$ وبنفس الإشارة.
7. حتى يبلغ الجرم السماوي اقصى استطالة له $Dec > Lat$ وبنفس الإشارة.
8. اقصى ارتفاع فوق الافق يبلغه الجرم السماوي $90° – Lat + Dec$.
9. عند اقصى ارتفاع للجرم يكون باتجاه الشمال $Dec > Lat$، أو يكون باتجاه الجنوب $Dec < Lat$.
10. أدنى انحطاط أسفل الأفق يبلغه الجرم السماوي $90° – Lat – Dec$.

التحضير للرصد خلال فترة الشفق

من السهل التعرف على معظم النجوم الساطعة ليلاً بعد غروب الشمس وتلاشى الأفق. حيث يتم التعرف بسهولة على المجموعات النجمية المختلفة، والاستدلال على النجوم من خلال العلاقات التي تربطها مع مجموعاتها النجمية.

عملياً تتم عملية رصد النجوم والكواكب وأحياناً القمر باستخدام آلة السدس في الفترة الزمنية المحصورة بين منتصف الشفق المدني، وحتى منتصف الشفق الملاحي سواء بعد غروب الشمس أو قبل شروقها. فخلال هذه الفترة التي لا تتعدى الدقائق الزمنية تكون النجوم اللامعة والكواكب ظاهرة في السماء تزامناً مع وضوح خط الأفق حيث لا يزال هناك بعض الضوء بحيث يكون الأفق مرئيًا أيضًا. فتتاح للراصد فرصة استخدام آلة السدس وأخذ ارتفاعات هذه الاجرام قبل تلاشي الأفق أو تلاشيها، بفعل هبوط الليل بعد فترة الشفق المسائي أو بفعل طلوع الشمس واختفاء النجوم والكواكب بعد فترة الشفق الصباحي حيث تصبح حينئذ عملية الرصد باستخدام السدس عديمة الفائدة، وتقتصر فقط على رصد الشمس.

إضافة إلى ذلك، وأثناء فترة الشفق غالبًا ما يكون هناك عدد قليل جدًا من النجوم المرئية، والتي تكون منفصلة عن مجموعاتها النجمية التي تساعد الراصد في تحديدها والتعرف عليها. من الناحية المثالية سيكون لدينا حوالي 30^m دقيقة لأخذ ارتفاعات النجوم، وبعبارة أخرى فترة الشفق لا تكفي أبدًا للبحث عن النجوم، وتحديد النجم المثالي، وقياس ارتفاعه باستخدام آلة السدس.

مع هذه الظروف قد يكون من الضرورة على الراصد التحضير والاستعداد الجيد لهذه العملية. فإذا كنا لا نعرف أين نبحث في السماء، أو أي نجم نخطط لقياس ارتفاعه، فلن نتمكن أبدًا من رصد النجوم. إذاً ماذا نفعل؟

على فرض عدم امتلاكنا لخرائط، ومخططات البحث عن النجوم والاستدلال عليها. حينها سنكون مضطرين للقيام بذلك عن طريق الحسابات الفلكية.

في الحقيقة نحن بحاجة إلى أن نعرف أولاً وقت بداية ونهاية الرصد، وكذلك بحاجة إلى أن نعرف النجوم التي ستكون متاحة للمشاهدة خلال ذلك الوقت، وأن نعرف الاتجاه والارتفاع التقريبي لهذه النجوم، ودرجة لمعانها. حتى نعرف أين نبحث عنها في السماء، ومن تلك المعلومات نستطيع أن نحدد الاختيار الأمثل من النجوم التي نخطط لاستخدامها في عملية الرصد.

هنا تأتي أهمية معرفة الموقع الجغرافي التقريبي للراصد، فنحن نحتاج إلى ذلك لعدة أسباب من أهمها: -

1) **نحتاجه لحساب الوقت المحدد لعملية الرصد.**
2) **نحتاجه لحساب ارتفاعات النجوم واتجاهاتها التقريبية، وتحديد النجوم المناسبة للرصد.**
3) **نحتاجه لإعطائنا تصور مسبق حول الموقع الجغرافي الدقيق الذي نسعى إلى ايجاده.**
4) **نحتاجه في حسابات فلكية أخرى متعلقة بتحديد الموقع الجغرافي.**

تحديد وقت الرصد

يعتمد حساب وقت الرصد على درجة ارتفاع مركز قرص الشمس h_{Sun}، والذي يكون بعد غروب الشمس أثناء الشفق المسائي أو قبل شروقها أثناء الشفق الصباحي، وذلك على النحو التالي: -

- **ارتفاع الشمس h_{Sun} لمنتصف وقت الشفق المدني °03 -**
- **ارتفاع الشمس h_{Sun} لمنتصف وقت الشفق الملاحي °09 -**

وذلك من خلال المعادلة الرياضية التالية: -

$$Cos\ (HA) = [Sin\ (-03°) - Sin\ (Lat)\ Sin\ (Dec)] \div [Cos\ (Lat)\ Cos\ (Dec)]$$

$$Cos\ (HA) = [Sin\ (-09°) - Sin\ (Lat)\ Sin\ (Dec)] \div [Cos\ (Lat)\ Cos\ (Dec)]$$

ثم نضيف ناتج المعادلتين السابقتين إلى وقت زوال الشمس، لنحصل على وقت بداية فترة الرصد عند منتصف وقت الشفق المدني، ونهايته عند منتصف وقت الشفق الملاحي، ومن المهم التواجد في موقع الرصد قبل بداية وقت الرصد بقليل من أجل اعتياد عين الراصد على رؤية الأفق، وتحري النجوم.

يجب ملاحظة أن هذا التسلسل يختلف في حال الشفق الصباحي حيث تكون بداية الرصد عند منتصف وقت الشفق الملاحي، ونهايته عند منتصف وقت الشفق المدني.

قياس ارتفاع واتجاه النجم

بعد تحديد وقت الرصد يلزمنا معرفة مجموعة النجوم التي ستكون متاحة للمشاهدة خلال ذلك الوقت، وبلا شك فإننا سنرشح تلك النجوم اللامعة حتى نتمكن من رؤيتها بسهولة أثناء فترة الشفق. ولتحقيق ذلك نقوم أولاً بحساب ارتفاعات مجموعة النجوم المرشحة، من أجل معرفة أي من النجوم المرشحة ستكون ظاهرة فوق الأفق اثناء فترة الرصد ليقع عليها الاختيار.

لحساب ارتفاع النجم h عند بداية وقت الرصد نستخدم المعادلة الرياضية التالية: -

$\sin(h) = \sin(Dec)\sin(Lat) + \cos(Dec)\cos(Lat)\cos(LHA)$

$LHA = LST - RA_{Star}$

بطبيعة الحال سيتم استبعاد النجوم التي يكون ارتفاعها بالإشارة السالبة حيث تكون أسفل الأفق المرئي، وكذلك النجوم التي يقل ارتفاعها عن °15 فهي لا تعتبر من ضمن الاختيارات المثالية، بسبب التأثير الكبير الواقع عليها نتيجة عامل الانكسار، والأفضل اختيار تلك النجوم الواقعة في مدى ارتفاع h يتراوح بين °15 ولغاية °75 فوق الأفق.

يمكن أيضًا حساب الزاوية السمتية للنجم Az عند بداية وقت الرصد على النحو التالي:-

$\cos(Az) = [\sin(Dec) - \sin(Lat)\sin(h)] \div [\cos(Lat)\cos(h)]$

وتكون الزاوية السمتية Az المقاسة من الشمال الحقيقي

IF $(180 < LHA < 360)$ ➔ $Az = Az$

IF $(0 < LHA < 180)$ ➔ $Az = 360° - Az$

بعد حساب ارتفاع واتجاه النجم، أضبط مؤشر آلة السدس على قيمة الارتفاع المحسوب، وقم بمسح دائرة الأفق في الاتجاه المحسوب للنجم حتى تراه قريباً من الأفق، فبهذا الأسلوب سوف ترصد النجم قبل أن تتمكن من رؤيته فعلياً بعينك، وكل ما يتبقى عليك فعله هو ضبط قياس ارتفاع الجرم بالنسبة إلى الأفق المرئي وتسجيل وقت الرصد.

ابدأ أولاً برصد النجم الشرقي البعيد عن مغيب الشمس خلال فترة الشفق والمسائي، أما إذا كنت ترصد خلال فترة الشفق الصباحي فابدأ برصد النجم الواقع جهة الغرب.

مثال: في الموقع الجغرافي التقريبي 30° 00′N, 047° 30′E كان المطلوب التحضير لرصد النجوم، وذلك لفترة الشفق المسائي ليوم 5 March 2022. علماً بأن:-

زوال الشمس بالتوقيت المدني الموحد ZT_{Noon}	**$12^h\ 01^m$**
درجة ميل الشمس Dec	**05° 54.3′ S**

- **نحسب الزاوية الساعية HA للشمس حين تبلغ ارتفاع ‎-03°‎ و ‎-09°‎ أسفل الأفق.**

Cos (HA) = [Sin (- 03°) - Sin (Lat) Sin (Dec)] ÷ [Cos (Lat) Cos (Dec)]

Cos (HA) = [Sin (- 03°) - Sin (30°) Sin (-05° 54.3′)] ÷ [Cos (30°) Cos (-05° 54.3′)]

HA = 90° 03.5′ ÷15°

HA = $06^h\ 00^m$

Cos (HA) = [Sin (- 09°) - Sin (Lat) Sin (Dec)] ÷ [Cos (Lat) Cos (Dec)]

Cos (HA) = [Sin (- 09°) - Sin (30°) Sin (-05° 54.3′)] ÷ [Cos (30°) Cos (-05° 54.3′)]

HA = 97° 00′ ÷15°

HA = $06^h\ 28^m$

- **نحسب وقت بداية ونهاية الرصد بالتوقيت المدني الموحد ZT.**

بداية فترة الرصد

ZT_{Noon}	$12^h\ 01^m$
HA +	$06^h\ 00^m$
$ZT_{Start\ Sight}$	$18^h\ 01^m$

نهاية فترة الرصد

ZT_{Noon}	$12^h\ 01^m$
HA +	$06^h\ 28^m$
$ZT_{End\ Sight}$	$18^h\ 29^m$

- نحسب الوقت النجمي المحلي LST لوقت بداية الرصد $ZT\ 18^h\ 01^m$ ويعادل بتوقيت غرينتش $GMT\ 15^h\ 01^m$ ليوم 5 March 2022، حيث d تعادل (64) يوم.

$GST^h = GST_0 + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST^h = 06^h\ 38^m\ 34^s + 0.0657098244 * 64 + 1.00273791 * 15^h\ 01^m$

$GST^h = 01^h\ 54^m\ 21^s$

$LST = GST + Long$

$LST = 01^h\ 54^m\ 21^s + (47°\ 30' \div 15°)$

$LST = 05^h\ 04^m\ 21^s \quad \times 15°$

$LST = 76°\ 05.2'$

- نحدد مجموعة النجوم المرشحة للرصد بحسب شدة اللمعان Apparent magnitude.

Star Name		RA °	RA '	Dec °	Dec '		App. mag.
Aldebaran	الدبران	69	17.6	16	33.2	N	0.85
Antares	قلب العقرب	247	41.9	26	28.9	S	0.96
Arcturus	السماك الرامح	214	10.4	19	4.1	N	-0.04
Procyon	الشعرى الشامية	115	6.6	5	10.1	N	0.38
Sirius	الشعرى اليمانية	101	31.5	16	44.8	S	-1.46

- نحسب الزاوية الساعية المحلية LHA لمجموعة النجوم المرشحة للرصد.

Star Name		$LST - RA_{Star}$	LHA_{Star}
Aldebaran	الدبران	76° 05.2′ - 069° 17.6′	06° 47.6′
Antares	قلب العقرب	76° 05.2′ - 247° 41.9′	188° 23.3′
Arcturus	السماك الرامح	76° 05.2′ - 214° 10.4′	221° 54.8′
Procyon	الشعرى الشامية	76° 05.2′ - 115° 06.6′	320° 58.6′
Sirius	الشعرى اليمانية	76° 05.2′ - 101° 31.5′	334° 33.7′

- نحسب درجات ارتفاع h لمجموعة النجوم، ونستبعد منها تلك المخفية أسفل الأفق.

$$\text{Sin}(h) = \text{Sin}(Dec)\ \text{Sin}(Lat) + \text{Cos}(Dec)\ \text{Cos}(Lat)\ \text{Cos}(LHA)$$

Star Name		درجة ارتفاع النجم h	الحالة
Aldebaran	الدبران	75°	
Antares	قلب العقرب	- 82°	مستبعد
Arcturus	السماك الرامح	-26.5°	مستبعد
Procyon	الشعرى الشامية	45.7°	
Sirius	الشعرى اليمانية	37°	

- بعد استبعاد النجوم المخفية أسفل الأفق نحسب اتجاه بقية النجوم.

$$\text{Cos}(Az) = [\text{Sin}(Dec) - \text{Sin}(Lat)\ \text{Sin}(h)] \div [\text{Cos}(Lat)\ \text{Cos}(h)]$$

IF $(180 < LHA < 360)$ → $Az = Az$

IF $(0 < LHA < 180)$ → $Az = 360° - Az$

Star Name		درجة ارتفاع النجم h	درجة اتجاه النجم Az
Aldebaran	الدبران	75°	208°
Procyon	الشعرى الشامية	45.7°	116°
Sirius	الشعرى اليمانية	37°	148°

يتضح مما سبق أن الاختيار وقع على ثلاثة نجوم من أصل خمسة، وسيتم تحري ورصد هذه النجوم المختارة خلال فترة الرصد. حيث سنقوم بضبط مؤشر آلة السدس على قيمة الارتفاع المحسوب، ونمسح دائرة الأفق في الاتجاه المحسوب للنجم حتى نراه قريباً من الأفق، ونقوم حينها برصد النجم مع تسجيل وقت الرصد.

النجوم التي تتفق إشارة ميولها مع إشارة خط عرض الراصد، ويكون مجموعهما أكبر من 90°. تعتبر من النجوم المتاحة للرصد، فهي نجوم أبدية الظهور لا تغرب أبداً. كما الحال مع نجم الجدي Polaris عند العروض الشمالية.

معرفة النجوم التي تعبر خط الزوال خلال فترة محددة

لمعرفة مجموعة النجوم التي ستعبر خط زوال الراصد خلال فترة زمنية محددة من أجل التحضير والتجهيز لرصدها أثناء مرورها الزوالي فإنه يلزمنا لذلك أولاً تحديد الوقت الذي نقوم بتحويله إلى زمن نجمي محلي LST ،ومن ثم نحدد الفترة الزمنية المطلوب لعملية الرصد حيث نقدر مدى هذه الفترة بالدقائق الزمنية فتضاف مره على الزمن النجمي المحلي وتطرح مره لنحصل على الفترة الزمنية المطلوبة للرصد ثم ندخل في جداول إحداثيات النجوم ونحصر كل النجوم التي تقع مطالعها المستقيمة ضمن الفترة الزمنية التي حددناها لتكون هي النجوم المرشحة لعبور خط الزوال بعد أن حققت شرط المطلع المستقيم.

أما الشرط الثاني فهو درجة ميل النجوم حيث يستلزم أن تكون هذه النجوم مرئية بالنسبة للراصد، ولكي يكون ذلك لابد من أن تحقق الشرط التالي: -

- إشارة ميل النجوم موافقة لإشارة عرض الراصد.
- أو بخلاف إشارة العرض، ولكن أصغر من تمامه (90° ~ العرض).

وبتلك الشروط يمكننا تحديد ومعرفة مجموعة النجوم التي ستعبر خط زوال الراصد خلال فترة زمنية محددة، وقد يزيد البعض شرط لمعان النجم كذلك لتسهيل عملية رؤيته ورصده، وبذلك يكون الراصد مستعداً لرصد ارتفاع النجم المطلوب مما يسهل عليه عملية الرصد.

مثال: باستخدام جدول بيانات مواقع النجوم حدد النجوم التي من القدر الظاهري (1) وأكثر لمعاناً، والتي ستعبر خط زوال راصد في الكويت 29° 15′N , 048° 00′ E، وذلك خلال فترة زمنية 20^m دقيقة قبل وبعد الساعة $17^h\ 00^m$ غرينتش من يوم 25 Feb 2014 .

$$GST = GST_{2014} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 38^m\ 20^s + 0.0657098244 * 56 + 1.00273791 * 17^h\ 00^m$$

$$GST = 03^h\ 21^m\ 54.66^s$$

$LST = GST + Long_{(E)}$

$LST = 03^h\ 21^m\ 54.66^s + (48° \div 15°)$

$LST = 03^h\ 21^m\ 04.66^s + 03^h\ 12^m$

$LST = 06^h\ 33^m\ 55^s$

$LST \pm 20^m$

$(06^h\ 13^m\ 55^s \rightarrow 06^h\ 53^m\ 55^s) \times 15°$

شرط المطلع المستقيم $(93°\ 28'\ 45'' \rightarrow 103°\ 28'\ 45'')$

شرط الميل (North Dec. or South Dec. & $Dec. < 90 \backsim Lat.$)

شرط اللمعان (Apparent Magnitude < 1)

ستبدأ هذه النجوم بعبور خط زوال الراصد بشكل متتابع بحسب قيمة مطالعها، حيث يبدأ الأقل قيمة أولاً ثم يليه الأكبر خلال الفترة من الساعة $16^h\ 40^m$ غرينتش ولغاية الساعة $17^h\ 20^m$ غرينتش.

Star Name		RA		Dec			App.
		°	'	°	'		mag.
Canopus	سهيل	96	6.1	52	42.5	S	-0.72
Sirius	الشعرى اليمانية	101	31.5	16	44.8	S	-1.46

أخيراً يمكن تحديد وقت العبور الزوالي بدقة، عن طريق تعيين وقت العبور للنجوم المذكورة باستخدام المعادلات الرياضية الخاصة، وذلك تحضراً لرصدها لحظة عبورها الزوالي.

تعيين وقت العبور الزوالي (القاعدة الأولى)

لتعيين وقت العبور الزوالي لأي جرم سماوي فإننا نطرح مطلعه المستقيم من الوقت النجمي المحلي تبقى الزاوية الساعية المحلية وهي عدد الساعات الماضية منذ آخر عبور زوالي للجرم أو عدد الساعات المتبقية له حتى عبوره فإذا كانت الزاوية الساعية موجبة الإشارة فهذا يعني أن الجرم السماوي قد عبر وتجاوز خط زوال الراصد وحينها يستوجب العودة والتراجع بالوقت بقدر تلك الساعات للحصول على وقت العبور بينما إذا كانت سالبة الإشارة فهذا يعني أن الجرم السماوي لم يبلغ بعد خط زوال الراصد وحينها يستوجب التقدم بالوقت بقدر تلك الساعات مع الحرص على أن عملية التراجع بالوقت أو التقدم به بقدر الزاوية الساعية قد يؤدي للرجوع إلى اليوم السابق أو الدخول في اليوم التالي لليوم الذي أجري فيه الحساب فيجب الانتباه لذلك.

في حالة النجوم يجب قسمة الزاوية الساعية الناتجة على 1.00273791، وذلك لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط ومن ثم نتبع بقية الخطوات الحسابية السابقة.

مثال: أوجد لحظة المرور الزوالي للشمس في الكويت خط طول 048° E الساعة 09:00 بتوقيت غرينتش من يوم 20 / 12 / 2013 .

وقت غرينتش المتوسط	GMT	$09^h\ 00^m\ 00^s$	20 Dec.
رقم المنطقة	ZN	03^h	+
وقت المنطقة	ZT	$12^h\ 00^m\ 00^s$	20 Dec.
الزمن النجمي المحلي	LST	$18^h\ 08^m\ 26^s$	
المطلع المستقيم	RA	$17^h\ 54^m\ 01^s$	-
الزاوية الساعية المحلية	LHA	$00^h\ 14^m\ 25^s$	+
وقت المنطقة	ZT	$12^h\ 00^m\ 00^s$	20 Dec.
الزاوية الساعية المحلية	LHA	$00^h\ 14^m\ 25^s$	-
وقت الزوال المحلي	ZT_{Noon}	$11^h\ 45^m\ 35^s$	20 Dec.

مثال: أوجد لحظة المرور الزوالي لنجم الشعرى اليمانية في الكويت خط طول 048°E الساعة 20:00 بتوقيت الكويت من يوم 23 / 8 / 2013 .

وقت المنطقة	ZT	$20^h\ 00^m\ 00^s$	23 Aug.
رقم المنطقة	ZN	03^h	-
وقت غرينتش المتوسط	GMT	$17^h\ 00^m\ 00^s$	23 Aug.

الزمن النجمي المحلي	LST	$18^h\ 20^m\ 36^s$	
المطلع المستقيم	RA	$06^h\ 45^m\ 44^s$	-
الزاوية الساعية المحلية	LHA	$11^h\ 34^m\ 52^s$	+
÷ 1.00273791		$11^h\ 32^m\ 58^s$	

وقت المنطقة	ZT	$20^h\ 00^m\ 00^s$	23 Aug.
الزاوية الساعية المحلية	LHA	$11^h\ 32^m\ 58^s$	-
وقت الزوال المحلي	ZT_{Noon}	$08^h\ 27^m\ 02^s$	23 Aug.

عند حساب لحظة المرور الزوالي للجرم السماوي فإنه يفضل استخراج عناصر الحساب للوقت التقريبي لتلك اللحظة من أجل دقة الحساب. فعلى سبيل المثال من المعلوم أن الشمس تعبر خط الزوال في حدود الساعة 1200 بتوقيت المنطقة ZT، وعليه نستخدم هذا الوقت بعد تحويله إلى وقت غرينيتش GMT لاستخراج عناصر الحساب المتمثلة في الزمن النجمي المحلي LST والمطلع المستقيم للشمس RA، بهذا نحصل على نتائج أكثر دقة.

تعيين وقت العبور الزوالي (القاعدة الثانية)

عند لحظة العبور الزوالي للجرم السـماوي فإن زاويته السـاعية المحلية LHA تسـاوي 00^h ، وبالتالي تتسـاوى قيمة الوقت النجمي المحلي LST والمطلع المسـتقيم RA لهذا الجرم، وعليه يمكن معرفة قيمة الوقت النجمي المحلي LST عند لحظة العبور الزوالي للجرم السـماوي بمعلومية المطلع المسـتقيم RA لهذا الجرم، وأخيراً يمكن تحويل الوقت النجمي المحلي LST إلى وقت غرينيتش المتوسط GMT ومنه إلى وقت المنطقة ZT.

<u>مثال</u>: أوجد لحظة المرور الزوالي لنجم النسر الواقع Vega لراصد في الموقع الجغرافي $24^\circ\ 38.6'\ N\ ,\ 046^\circ\ 44.4\ E$ يوم 15 June. 2020 إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم للنجم	$18^h\ 37^m\ 38^s$
الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم (GST_{00})	$17^h\ 34^m\ 57^s$

يعبر النجم خط الزوال المحلي عندما يكون LST = RA ،وهذا يعني بأن LHA للنجم يساوي 00^h .

LHA		$00^h\ 00^m\ 00^s$		
RA	+	$18^h\ 37^m\ 38^s$		
LST		$18^h\ 37^m\ 38^s$		
GST_{00}	-	$17^h\ 34^m\ 57^s$		
		$01^h\ 02^m\ 41^s$		
Long	-E	$03^h\ 06^m\ 58^s$		
		$21^h\ 55^m\ 43^s$	÷ 1.00273791	
GMT		$21^h\ 52^m\ 07^s$	15 June.	
ZN	+E	03^h		
ZT		$00^h\ 52^m\ 07^s$	16 June.	

مثال: أوجد لحظة المرور الزوالي لكوكب المريخ Mars في مدينة بغداد الموقع الجغرافي 33° 20.3′ N , 044° 24.2 E يوم 20 Aug. 2020 إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم لكوكب المريخ	$01^h\,39^m\,18^s$
الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم (GST_{00})	$21^h\,55^m\,10^s$

يعبر كوكب المريخ خط الزوال المحلي في بغداد عندما يكون LST = RA، وهذا يعني بأن LHA للكوكب تساوي 00^h.

LHA	$00^h\ 00^m\ 00^s$	
RA +	$01^h\ 39^m\ 18^s$	
LST	$01^h\ 39^m\ 18^s$	
GST_{00} -	$21^h\ 55^m\ 10^s$	
	$03^h\ 44^m\ 08^s$	
Long -E	$02^h\ 57^m\ 37^s$	
GMT	$00^h\ 46^m\ 31^s$	20 Aug.
ZN +E	03^h	
ZT	$03^h\ 46^m\ 31^s$	20 Aug.

كلما كانت قيمة المطلع المستقيم RA المستخرجة من التقاويم الفلكية قريبة من وقت زوال الجرم السماوي كانت نتيجة حساب وقت العبور الزوالي أكثر دقة، ويستثنى من ذلك كل من النجوم وكوكبي زحل والمشتري لكون هذه الاجرام لا تغير من درجة مطالعها المستقيمة خلال ساعات اليوم الواحد بخلاف بقية الاجرام السماوية كالقمر بالدرجة الأولى، وكذلك كوكب المريخ ثم الشمس، أما كوكبي عطارد والزهرة وبسبب قرب مداريهما من الشمس فيصادف وقت عبورهما الزوالي خلال ساعات النهار فلا يشاهدان.

مثال: أوجد لحظة المرور الزوالي السفلي لنجم الكف الخضيب Caph في الموقع الجغرافي 46° 35.5′ N , 112° 02.2 W

يوم 13 Feb. 2020 إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم للنجم	$00^h\ 10^m\ 13^s$
الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم (GST_{00})	$09^h\ 30^m\ 01^s$

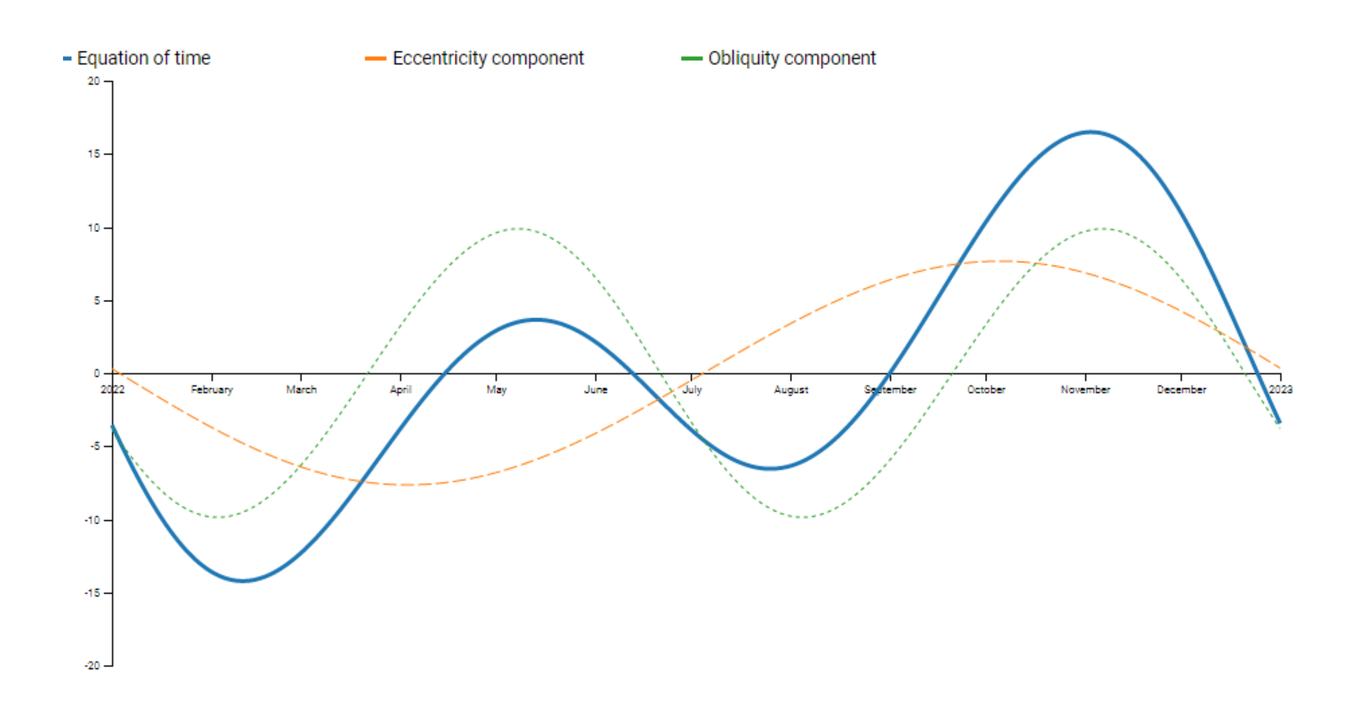
يعبر النجم خط الزوال السفلي للراصد عندما يكون $LST = RA + 12^h$، وهذا يعني بأن LHA للنجم يساوي 12^h .

LHA	$12^h\ 00^m\ 00^s$	
RA +	$00^h\ 10^m\ 13^s$	
LST	$12^h\ 10^m\ 13^s$	
GST_{00} -	$09^h\ 30^m\ 01^s$	
	$02^h\ 40^m\ 12^s$	
Long +W	$07^h\ 28^m\ 09^s$	
	$10^h\ 08^m\ 21^s$	÷ 1.00273791
GMT	$10^h\ 06^m\ 41^s$	13 Feb.
ZN -W	07^h	
ZT	$03^h\ 06^m\ 41^s$	13 Feb.

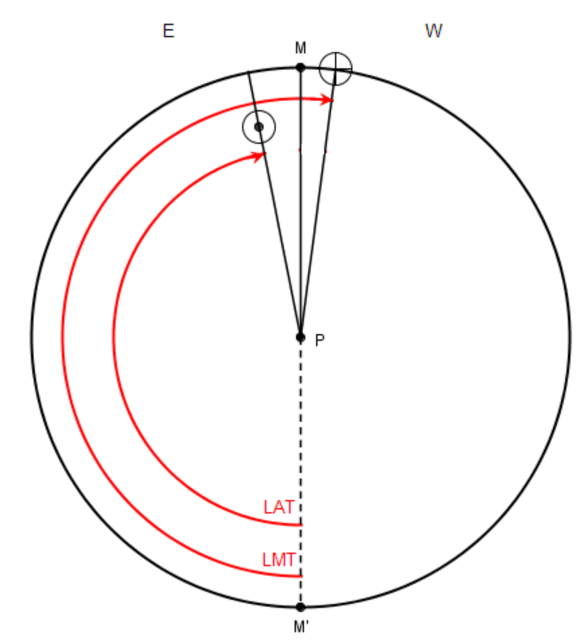
تعيين وقت العبور الزوالي للشمس (القاعدة الثالثة)

ترتبط الشمس المتوسطة ⊕Mean sun بحركتها مع الشمس الحقيقية ⊙Apparent sun بعلاقة تسمى معادلة الوقت Equation of Time (Eq.T) ، والتي تعرف على أنها طول القوس على خط الاستواء السماوي أو الزاوية عند القطب P المحصورة بين دائرتي زوال كل من الشمس المتوسطة والشمس الحقيقية. فمعادلة الوقت عبارة عن الفرق بين الوقت الظاهري الحقيقي Apparent Time (AT) الذي تشير له المزولة الشمسية والوقت المتوسط Mean Time (MT) الذي تشير إليه تلك الساعة التي نحملها في أيدينا، ويرتبط كل منها بالأخر من خلال العلاقة Eq.T = AT – MT، وهي عبارة عن محصلة لمركبتين: -

- **مركبة الاختلاف المركزي Eccentricity component الناتجة عن ضبط سرعة الشمس الحقيقية على الدائرة السماوية للحصول على السرعة المنتظمة.**
- **مركبة الميلان Obliquity component الناتجة عن نقل حركة الشمس المنتظمة في سرعتها لتتحرك على مستوى خط الاستواء السماوي للحصول على الشمس المتوسطة.**

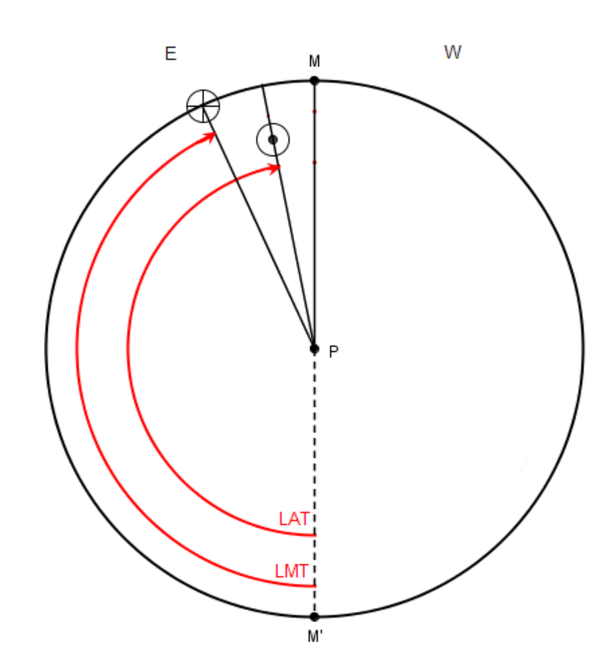


محصلة المركبتين تمثل معادلة الوقت Eq.T، وتكون مساوية للصفر أربعة مرات في العام حوالي في يوم 15 أبريل، و13 يونيو، و1 سبتمبر، و25 ديسمبر حيث تتساوى حينها كل من الزاوية الساعية للشمس المتوسطة مع الزاوية الساعية للشمس الحقيقية بمعنى تساوي كل من الوقت المتوسط MT والوقت الظاهري AT، وأما في غير هذه الأيام الأربعة يبقى التباين بين الوقتين على مدار العام. فتارة نجد أن دائرة زوال الشمس المتوسطة تسبق دائرة زوال الشمس الحقيقية فيكون الوقت المتوسط MT أكبر من الوقت الظاهري AT، وفي هذه الحالة فإن قيمة معادلة الوقت تأخذ الإشارة السالبة، وتارة أخرى نجد أن دائرة زوال الشمس المتوسطة متأخرة عن دائرة زوال الشمس الحقيقية فيكون الوقت المتوسط أصغر من الوقت الظاهري، وفي هذه الحالة فإن قيمة معادلة الوقت تأخذ الإشارة الموجبة، وتبلغ معادلة الوقت أقصى قيمة موجبة لها في يوم 3 نوفمبر حيث تساوي حوالي $+16^m25^s$ بينما تبلغ أدنى قيمة سالبة في يوم 11 فبراير حيث تساوي حوالي -14^m15^s .



الشمس المتوسطة عبرت خط زوال الراصد قبل الشمس الظاهرية، وبالتالي تكون الشمس المتوسطة سابقة الشمس الظاهرية.

LMT > LAT ⟶ Eq.T (-)



الشمس المتوسطة ستعبر خط زوال الراصد بعد عبور الشمس الظاهرية، وبالتالي تكون الشمس المتوسطة متأخرة عن الشمس الظاهرية.

LMT < LAT ⟶ Eq.T (+)

تعبر الشمس الظاهرية خط الزوال المحلي دائماً عند الساعة 12^h بالتوقيت المحلي الظاهري LAT، وهذا ما نلاحظه عند استخدام المزولة الشمسية. ذلك أن المزاول الشمسية تقيس الوقت الحقيقي للشمس الظاهرية. بينما تعبر الشمس المتوسطة خط الزوال الرئيسي عند الساعة $12^h \pm$ Eq.T بالتوقيت المحلي المتوسط LMT.

بالتالي يمكن حساب وقت العبور الزوالي المحلي للشمس بمعرفة كل من معادلة الوقت لليوم المطلوب، وخط طول الراصد، وتجدر الإشارة هنا إلى أن قيمة معادلة الوقت المعطاة في الجداول الفلكية تكون محسوبة لبداية اليوم بتوقيت غرينتش GMT 00^h، وفي التقويم البحري تتوفر قيمة معادلة الوقت لكل من الساعة 12^h , GMT 00^h، فإن كنت تتحرى الدقة لأقرب ثانية زمنية، يتوجب عليك القيام بحساب قيمة معادلة الوقت بطريقة التعديل بين السطرين أو ما يسمى بطريقة حساب التناسب للحصول على قيمة معادلة الوقت عند وقت العبور الزوالي للشمس.

<u>مثال</u>: أوجد لحظة العبور الزوالي للشمس في المنامة 26° 13.6′ N , 050° 35′ E يوم 10 April 2022 إذا علمت أن :-

معادلة الوقت $Eq.T_{GMT\ 12h}$ (من التقويم البحري) **- $01^m\ 19^s$**

$LAT_{At\ Noon}$	$12^h\ 00^m\ 00^s$	
Eq.T +	$01^m\ 19^s$	(Eq.T -) MT > AT
--		
LMT	$12^h\ 01^m\ 19^s$	
Long $_{E-}$	$03^h\ 22^m\ 20^s$	
--		
GMT	$08^h\ 38^m\ 59^s$	
ZN $_{E+}$	$03^h\ 00^m\ 00^s$	
--		
ZT_{Noon}	$11^h\ 38^m\ 59^s$	,10 April

تصحيح ارتفاع قرب الزوال

إن معرفة وقت الزوال أو ارتفاع الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي يعتبر من الأمور المهمة في التطبيقات الفلكية المختلفة، إذ يترتب على معرفة ذلك الكثير من المعطيات الفلكية، ويترقب المهتمون هذه اللحظة بكثير من الاستعداد والتأهب من أجل رصد الارتفاع الزوالي الدقيق.

في بعض الأحيان ولأسباب مختلفة قد لا تكون تلك الرصدة متاحة بالشكل المطلوب لأسباب متعلقة بخبرة ومقدرة الراصد أو لأسباب أخرى خارجة عن إرادته كتواجد السحب والغيوم في السماء التي قد تحجب الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي، ومن أجل عدم تفويت رصدة الزوال يمكننا استخدام طريقة أخرى في الرصد وتسمى رصدة قُرب الزوال حيث يقوم الراصد برصد الجرم السماوي قبل أو بعد عبور الجرم لخط الزوال بفترة محددة ومن ثم يقوم ببعض الحسابات من أجل تصحيح الارتفاع للحصول على الارتفاع الزوالي للجرم السماوي.

طريقة الرصدات المتتالية: وهي كما ذكرنا سابقاً حيث نقوم برصد ارتفاع الجرم السماوي عندما يوشك على عبور خط الزوال شريطة أن نفصل بين هذه الرصدات بفترات زمنية متساوية ومحددة ثم نختار منها ثلاثة رصدات حيث سنعرف ذلك ما ان يبدأ الارتفاع بالتناقص بعد أن كان في تزايد، ثم وبطريقة التعديل بين السطرين يمكننا معرفة أقصى ارتفاع بلغه هذا الجرم فذلك هو الارتفاع الزوالي، كما يمكن معرفة وقت هذا الارتفاع.

مثال: قام راصد بأخذ رصدات متتالية للشمس قبل وبعد لحظة عبورها الزوالي مع تسجيل وقت كل رصدة بفاصل زمني Δt مقداره 5 دقائق زمنية. فإذا علمت أنه قد اختار الرصدات التالية لقرب الزوال.

Sight No.	X_{Time}	$Y_{Alt.}$
1	11^h55^m	$51° 56' 39''$
2	12^h00^m	$51° 58' 19''$
3	12^h05^m	$51° 57' 41''$

احسب الارتفاع الزوالي للشمس Y_m ، ووقت الزوال X_m .

$A = Y_2 - Y_1$ $\quad$ $00° 01' 40''$

$B = Y_3 - Y_2$ $\quad$ $-00° 00' 38''$

$C = B - A$ $\quad$ $-00° 02' 18''$

$Y_m = Y_2 - [(A+B)^2 \div (8 \times C)]$

$Y_m = 51° 58' 19'' - [(00° 01' 40'' - 00° 00' 38'')^2 \div (8 X (-00° 02' 18''))]$

$Y_m = 51° 58' 22''$

$n_m = - [(A+B) \div (2 \times C)]$

$n_m = - [(00° 01' 40'' + (-00° 00' 38'')) \div (2 \times (-00° 02' 18''))]$

$n_m = \ 00° 13' 29''$

$X_m = n_m \times \Delta t + X_2$

$X_m = 00° 13' 29'' \times 00^h 05^m + 12^h 00^m$

$X_m = 12^h 01^m 06^s$

<u>مثال</u>: قام راصد بأخذ رصدات متتالية للشمس قبل وبعد لحظة عبورها الزوالي مع تسجيل وقت كل رصدة بفاصل زمني Δt مقداره 5 دقائق زمنية. فإذا علمت أنه قد اختار الرصدات التالية لقرب الزوال.

Sight No.	X_{Time}	$Y_{Alt.}$
1	$11^h 37^m 46^s$	$38° 12' 54''$
2	$11^h 42^m 46^s$	$38° 12' 30''$
3	$11^h 47^m 46^s$	$38° 10' 24''$

احسب الارتفاع الزوالي للشمس Y_m، ووقت الزوال X_m .

$A = Y_2 - Y_1$	$-00° 00' 24''$
$B = Y_3 - Y_2$	$-00° 02' 06''$
$C = B - A$	$-00° 01' 42''$

$$Y_m = Y_2 - [(A+B)^2 \div (8\times C)]$$

$$Y_m = 38° 12' 30'' - [(-00° 00' 24'' - 00° 02' 06'')^2 \div (8 X (-00° 01' 42''))]$$

$$Y_m = 38° 12' 58''$$

$$n_m = - [(A+B) \div (2\times C)]$$

$$n_m = - [(-00° 00' 24''+(-00° 02' 06'')) \div (2\times (-00° 01' 42''))]$$

$$n_m = - 00° 44' 07''$$

$$X_m = n_m \times \Delta t + X_2$$

$$X_m = - 00° 44' 07'' \times 00^h 05^m + 11^h 42^m 46^s$$

$$X_m = 11^h 39^m 05^s$$

طريقة التخفيض: وتقوم هذه الطريقة على رصد ارتفاع الجرم السماوي عندما يوشك على عبور خط الزوال أو بعد أن يعبره بفترة وجيزة حيث تكون قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم السماوي صغيرة، ويعتمد هذه الأسلوب على معرفة معدل التغير في ارتفاع الجرم السماوي A عندما يكون قريباً من خط الزوال حيث تختلف قيمة معدل التغير بحسب قيمة ميل الجرم وخط عرض الراصد.

إن العمل بطريقة قرب الزوال تتطلب المعرفة المسبقة لوقت الزوال من أجل معرفة فرق الزوايا الساعية أو الفترة الزمنية Δt المحصورة بين وقت الرصد t_2 ووقت المرور الزوالي t_1 للجرم السماوي كما تتطلب كذلك معرفة ميل Dec هذا الجرم وخط عرض Lat الراصد، وفي حال كان خط العرض مجهولاً يمكن الاستعاضة عنه بخط العرض التقريبي.

ويمكن الاستعانة بجدول حدود الزاوية الساعية أو الفترة الزمنية بالدقائق الزمنية قبل أو بعد وقت المرور الزوالي المسموح لاستخدام هذه الطريقة المسماة بطريقة قرب الزوال بدلالة معدل التغير في ارتفاع الجرم السماويA، والذي يحسب بالثواني القوسية على النحو التالي: -

$$A = \frac{1.9635 \times Cos(Lat)Cos(Dec)}{Sin(Lat \pm Dec)}$$

(+) في حال اختلاف إشارة الميل والعرض،(-) في حال تشابه الإشارة.

A "	Δ t m	A "	Δ t m	A "	Δ t m	A "	Δ t m	A "	Δ t m
52.2	4	7.54	17	3.37	30	1.92	43	1.21	56
40.2	5	6.94	18	3.20	31	1.85	44	1.17	57
31.4	6	6.44	19	3.05	32	1.78	45	1.13	58
25.4	7	6.00	20	2.92	33	1.72	46	1.09	59
21.2	8	5.64	21	2.79	34	1.66	47	1.06	60
18.0	9	5.26	22	2.67	35	1.60	48	1.02	61
15.7	10	4.94	23	2.55	36	1.54	49	0.99	62
13.8	11	4.60	24	2.45	37	1.49	50	0.96	63
12.2	12	4.40	25	2.35	38	1.43	51	0.93	64
10.9	13	4.17	26	2.25	39	1.38	52	0.90	65
9.90	14	3.94	27	2.16	40	1.34	53	0.87	66
9.02	15	3.73	28	2.08	41	1.29	54		
8.22	16	3.54	29	2.00	42	1.25	55		

نطبق العلاقة التالية للحصول على قيمة التصحيح الأول $Corr._1$ بالدقائق الذي يضاف إلى ارتفاع قرب الزوال

$$Corr._1 = A \times (\Delta t)^2$$

$$\Delta t = t_2 \sim t_1$$

ندخل في جدول التصحيح الثاني بقيمة دقائق التصحيح الأول $Corr._1$ وبدلالة الارتفاع المرصود لقرب الزوال Altitude للحصول على قيمة التصحيح الثاني $Corr._2$ والذي يطرح دائماً.

$Corr._1$	Altitude																$Corr._1$
	15°	30°	35°	40°	45°	50°	53°	56°	59°	62°	65°	68°	71°	74°	77°	80°	
	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′	′
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	15
30	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	30
35	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	35
40	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.3	40
45	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.7	45
50	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	50
55	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.9	2.5	55
60	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	3.0	60
65	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.7	3.5	65
70	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.5	3.1	4.0	70
75	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.8	2.0	2.4	2.9	3.5	4.6	75
80	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.7	3.3	4.0	5.3	80
85	0.3	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	3.1	3.7	4.5	6.0	85
90	0.3	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.9	3.4	4.1	5.1	6.7	90
93	0.3	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.7	3.1	3.7	4.4	5.5	7.1	93
96	0.4	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.9	3.3	3.9	4.7	5.8	7.6	96
99	0.4	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	2.7	3.1	3.5	4.1	5.0	6.2	8.1	99
102	0.4	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.9	3.2	3.7	4.4	5.3	6.6	8.6	102
105	0.4	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.4	4.0	4.7	5.6	7.0	9.1	105
108	0.5	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.8	3.2	3.6	4.2	4.9	5.9	7.3	9.6	108
111	0.5	1.0	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8	4.4	5.2	6.3	7.8	10.2	111
114	0.5	1.1	1.3	1.6	1.9	2.3	2.5	2.8	3.2	3.6	4.1	4.7	5.5	6.6	8.2	10.7	114
117	0.5	1.1	1.4	1.7	2.0	2.4	2.6	3.0	3.3	3.7	4.3	4.9	5.8	6.9	8.6	11.3	117
120	0.6	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.5	5.2	6.1	7.3	9.1	11.9	120
123	0.6	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	2.9	3.3	3.7	4.1	4.7	5.5	6.4	7.6	9.5	12.5	123
126	0.6	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.1	3.4	3.8	4.3	5.0	5.7	6.7	8.0	10.0	13.1	126
129	0.7	1.4	1.7	2.0	2.4	2.9	3.2	3.6	4.0	4.6	5.2	6.0	7.0	8.4	10.5	13.7	129
132	0.7	1.5	1.8	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.2	4.8	5.4	6.3	7.4	8.8	11.0	14.4	132
135	0.7	1.5	1.9	2.2	2.6	3.2	3.5	3.9	4.4	5.0	5.7	6.6	7.7	9.2	11.5	15.0	135
138	0.7	1.6	1.9	2.3	2.8	3.3	3.7	4.1	4.6	5.2	5.9	6.9	8.0	9.7	12.0	15.7	138
141	0.8	1.7	2.0	2.4	2.9	3.5	3.8	4.3	4.8	5.4	6.2	7.2	8.4	1.0	12.5	16.4	141

بعد الحصول على قيمة التصحيح الأول والتصحيح الثاني وهما يمثلان تصحيح قرب الزوال يمكن حساب الارتفاع الزوالي للجرم السماوي $Alt._{Noon}$

Alt.
Corr.$_1$ +
Corr.$_2$ -

Alt. $_{Noon}$

مثال: تم رصد ارتفاع قرب الزوال للشمس الساعة ZT $11^h\ 47^m$ فإذا علمت أن :-

ارتفاع قرب الزوال	46° 16′ 15″
ميل الشمس	14° 19′ 27″ S
خط العرض التقريبي للراصد	28° 50′ 00″ N
وقت زوال الشمس	$12^h\ 02^m\ 24^s$

أوجد الارتفاع الزوالي للشمس Alt_{Noon} بطريقة قرب الزوال

$$A = \frac{1.9635 \times Cos(Lat)Cos(Dec)}{Sin(Lat \pm Dec)}$$

$$A = \frac{1.9635 \times Cos(28°\,50'\,00'')Cos(-14°\,19'\,27'')}{Sin(28°\,50'\,00''+14°\,19'\,27'')}$$

$$A = 2.436$$

بالدخول بقيمة A في جدول حدود الفترة الزمنية المسموحة نجد بأن الفترة المتاحة تعادل $00^h\ 38^m\ 00^s$ دقيقة قبل أو بعد العبور الزوالي، والفترة الزمنية بحسب الرصدة الفلكية في المثال تعادل $00^h\ 15^m\ 24^s$ ، وعليه يكون وقت الرصدة الفلكية في الحدود المسموح بها لتطبيق الحل بطريقة قرب الزوال ولم تتجاوز الحد.

A "	Δt m
3.37	30
3.20	31
3.05	32
2.92	33
2.79	34
2.67	35
2.55	36
2.45	37
2.35	38
2.25	39
2.16	40
2.08	41
2.00	42

$\Delta t = t_2 \sim t_1$

$\Delta t = 11^h\ 47^m\ 00^s \sim 12^h\ 02^m\ 24^s$

$\Delta t = 00^h\ 15^m\ 24^s$

$$Corr._1 = A \times (\Delta t)^2$$

$$Corr._1 = 2.436 \times (00^h\ 15^m\ 24^s)^2$$

$$Corr._1 = 00^\circ\ 09'\ 38''$$

بحسب قيمة ارتفاع قرب الزوال $46^\circ\ 16'\ 15''$ ، وكذلك قيمة التصحيح الأول $Corr._1$ المستخرجة والتي تعادل $9.628'$ ندخل في الجدول لنجد بأن قيمة التصحيح الثاني $Corr._2$ معدومة.

$$Corr._2 = 00^\circ\ 00'\ 00''$$

Alt.		**46° 16′ 15″**
Corr.$_1$	+	**00° 09′ 38″**
Corr.$_2$	-	**00° 00′ 00″**

Alt.$_{Noon}$	**46° 25′ 53″**

مثال: قام راصد على خط الطول $051° 33' E$ برصد ارتفاع قرب الزوال لنجم السماك الأعزل Spica باتجاه الجنوب الشرقي الساعة $ZT\ 21^h\ 49^m\ 36^s$ فكان ارتفاعه الحقيقي $52° 48' 08''$ إذا علمت أن :-

ميل النجم	**$11° 15' 41''$ S**
خط العرض التقريبي للراصد	**$25° 09' 00''$ N**
وقت العبور الزوالي للنجم	**$22^h\ 18^m\ 22^s$**

أوجد الارتفاع الزوالي للنجم Alt_{Noon} بطريقة قرب الزوال ثم أوجد خط العرض الحقيقي للراصد.

$$A = \frac{1.9635 \times Cos(Lat)Cos(Dec)}{Sin(Lat \pm Dec)}$$

$$A = \frac{1.9635 \times Cos(25° 09' 00'')Cos(-11° 15' 41'')}{Sin(25° 09' 00'' + 11° 15' 41'')}$$

$$A = 2.937$$

بالدخول بقيمة A في جدول حدود الفترة الزمنية المسموحة نجد بأن الفترة المتاحة تعادل $00^h\ 33^m\ 00^s$ دقيقة قبل أو بعد العبور الزوالي، والفترة الزمنية بحسب الرصدة الفلكية في المثال تعادل $00^h\ 28^m\ 46^s$ ، وعليه يكون وقت الرصدة الفلكية في الحدود المسموح بها لتطبيق الحل بطريقة قرب الزوال ولم تتجاوز الحد.

$$\Delta t = t_2 \sim t_1$$

$$\Delta t = 21^h\ 49^m\ 36^s \sim 22^h\ 18^m\ 22^s$$

$$\Delta t = 00^h\ 28^m\ 46^s$$

$$Corr._1 = A \times (\Delta t)^2$$

$$Corr._1 = 2.937 \times (00^h 28^m 46^s)^2$$

$$Corr._1 = 00^\circ 40' 30''$$

بحسب قيمة ارتفاع قرب الزوال ″08 ′48 °52، وكذلك قيمة التصحيح الأول $Corr._1$ المستخرجة والتي تعادل ′40.5 دقيقة ندخل في الجدول لنجد بأن قيمة التصحيح الثاني $Corr._2$ تعادل ′0.3 دقيقة.

$$Corr._2 = 00^\circ 00' 18''$$

Alt.	**52° 48′ 08″**	
Corr.$_1$ +	**00° 40′ 30″**	
Corr.$_2$ -	**00° 00′ 18″**	

Alt. $_{Noon}$	**53° 28′ 20″**	

Alt. $_{Noon}$	**53° 28′ 20″**	**S**
~ 90°		
---		
mer. ZD	**36° 31′ 40″**	**N**
Dec.	**11° 15′ 41″**	**S**

Lat.	**25° 15′ 59″**	**N**

تعيين خط الزوال باستخدام النجم القطبي

من الممكن استخدام النجم القطبي (الجدي) Polaris في تعيين خط زوال الراصد أو إيجاد اتجاه الشمال، ويكون ذلك على ثلاثة حالات، ففي الحالة الأولى عندما تكون الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم القطبي تساوي 00^h وبمعنى آخر عند لحظة المرور الزوالي العلوي للنجم القطبي حيث ينطبق النجم على خط الزوال ويكون اتجاهه باتجاه الشمال تماماً.

$$LST = RA + 00^h$$

وأما الحالة الثانية عندما تكون الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم القطبي تساوي 12^h وبمعنى آخر عند لحظة المرور الزوالي السفلي للنجم القطبي حيث ينطبق النجم على خط الزوال ويكون اتجاهه باتجاه الشمال تماماً.

$$LST = RA + 12^h$$

وأما في الحالة الثالثة فهي عندما تكون الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم القطبي بخلاف تلك القيمتين حيث يكون النجم القطبي منحرف في اتجاه شرق أو غرب خط زوال الراصد، وفي هذا الحالة يستوجب إيجاد قيمة هذا الانحراف.

$$Tan(Az) = \frac{-Tan(PD) \times (1/Cos(Lat)) \times Sin(LHA)}{1 - Tan(PD) \times Tan(Lat) \times Cos(LHA)}$$

يمكن الاستفادة من تعيين خط الزوال باستخدام النجم القطبي لمعرفة اتجاه الشمال الحقيقي وضبط البوصلات كما يمكن كذلك تحديد خط زوال الراصد من أجل ضبط جهاز الثيودولايت لرصد مواقيت العبور الزوالي للأجرام السماوية ودرجة ارتفاعها الزوالي.

مثال: حدد خط الزوال المحلي بطريقة عبور النجم القطبي (الجدي) Polaris على خط الزوال العلوي لراصد في الموقع الجغرافي 29.25°N , 048°E يوم 4 Aug. 2018 إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم للنجم	**$02^h 55^m 08^s$**
الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم (GST_{00})	**$20^h 50^m 02^s$**

يعبر النجم خط الزوال العلوي للراصد عندما يكون LST = RA، وهذا يعني بأن LHA للنجم يساوي 00^h .

```
LHA          00 h  00 m  00 s
RA     +     02 h  55 m  08 s
-------------------------------------------------
LST          02 h  55 m  08 s
GST00  -     20 h  50 m  02 s
-------------------------------------------------
             06 h  05 m  06 s
Long  -E     03 h  12 m  00 s
-------------------------------------------------
             02 h  53 m  06 s    ÷ 1.00273791
GMT          02 h  52 m  38 s
ZN    +E     03 h
-------------------------------------------------
ZT           05 h  52 m  38 s    4 Aug.
```

إذاً عند وقت المنطقة ZT $05^h 52^m 38^s$ من يوم 4 Aug. 2018 يكون النجم القطبي Polaris منطبقاً على خط الزوال المحلي للراصد المحدد موقعه بالإحداثيات الجغرافية 29.25°N , 048°E .

مثال: حدد خط الزوال المحلي بطريقة عبور النجم القطبي (الجدي) Polaris على خط الزوال السفلي لراصد في الموقع الجغرافي 29.25°N , 048°E يوم 4 Aug. 2018 إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم للنجم	$02^h55^m\ 08^s$
الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم (GST_{00})	$20^h50^m\ 02^s$

يعبر النجم خط الزوال السفلي للراصد عندما يكون $LST = RA + 12^h$، وهذا يعني بأن LHA للنجم يساوي 12^h .

LHA	$12^h\ 00^m\ 00^s$	
RA +	$02^h\ 55^m\ 08^s$	
LST	$14^h\ 55^m\ 08^s$	
GST_{00} -	$20^h\ 50^m\ 02^s$	
	$18^h\ 05^m\ 06^s$	
Long -E	$03^h\ 12^m\ 00^s$	
	$14^h\ 53^m\ 06^s$	÷ 1.00273791
GMT	$14^h\ 50^m\ 39^s$	
ZN +E	03^h	
ZT	$17^h\ 50^m\ 39^s$	4 Aug.

إذاً عند وقت المنطقة $ZT\ 17^h\ 50^m\ 39^s$ من يوم 4 Aug. 2018 يكون النجم القطبي Polaris منطبقاً على خط الزوال المحلي للراصد المحدد موقعه بالإحداثيات الجغرافية 29.25°N , 048°E .

<u>مثال</u>: حدد خط الزوال المحلي بطريقة إيجاد درجة انحراف النجم القطبي Polaris عن خط الزوال المحلي في الموقع الجغرافي $29.25°N , 048°E$ يوم 11 Jan. 2015 الساعة GMT $22^h\ 12^m\ 00^s$

إذا علمت أن :-

البعد القطبي PD	**$00°\ 40'\ 24''$**
الزاوية الساعية المحلية LHA	**$89°\ 20'\ 20''$**

$$Tan(Az) = \frac{-Tan(PD)\times(1\div Cos(Lat))\times Sin(LHA)}{1-Tan(PD)\times Tan(Lat)\times Cos(LHA)}$$

$$Tan(Az) = \frac{-Tan(00°\ 40'\ 24'')\times(1\div Cos(29°\ 15'\ 00''))\times Sin(89°\ 20'\ 20'')}{1-Tan(00°\ 40'\ 24'')\times Tan(29°\ 15'\ 00'')\times Cos(89°\ 20'\ 20'')}$$

$$Tan(Az) = \frac{-0.01346899}{0.99992406}$$

$$Tan(Az) = -0.013470013$$

$$Az = -00°\ 46'\ 18''$$

إذاً النجم القطبي (الجدي) منحرف عن خط زوال الراصد بمقدار'46.3 غرباً (الإشارة سالبة)، وعليه يكون اتجاه النجم القطبي '13.7 °359

مثال: حدد خط الزوال المحلي بطريقة إيجاد درجة انحراف النجم القطبي Polaris عن خط الزوال المحلي في مسقط

$23° 36.9' N , 058° 36' E$ يوم 25 April 2020 الساعة 00^s 52^m 00^h GMT

إذا علمت أن :-

البعد القطبي PD	**$00° 39' 08''$**
الزاوية الساعية المحلية LHA	**$240° 50' 50''$**

$$Tan(Az) = \frac{-Tan(PD) \times (1 \div Cos(Lat)) \times Sin(LHA)}{1 - Tan(PD) \times Tan(Lat) \times Cos(LHA)}$$

$$Tan(Az) = \frac{-Tan(00° 39' \; 08'') \times (1 \div Cos(23° 36.9')) \times Sin(240° 50' 50'')}{1 - Tan(00° 39' \; 08'') \times Tan(23° 36.9') \times Cos(240° 50' 50'')}$$

$$Tan(Az) = \frac{0.01085049}{1.00242452}$$

$$Tan(Az) = 0.01082425$$

$$Az = 00° 37' \; 12''$$

إذاً النجم القطبي (الجدي) منحرف عن خط زوال الراصد بمقدار '37.2 شرقاً (الإشارة موجبة)، وعليه يكون اتجاه النجم القطبي '37.2 °000

إيجاد العرض الجغرافي بطريقة رصد الارتفاع الزوالي

يحدث العبور الزوالي المحلي للجرم السماوي عندما يكون هذا الجرم على نفس دائرة الزوال العظمى للراصد، وبما أن جميع الأجرام السماوية تتحرك بحركة يومية ظاهرية من الشرق إلى الغرب فإنها سوف تعبر خط الزوال المحلي للراصد. كذلك بالمثل سوف تعبر خط الزوال السفلي للراصد.

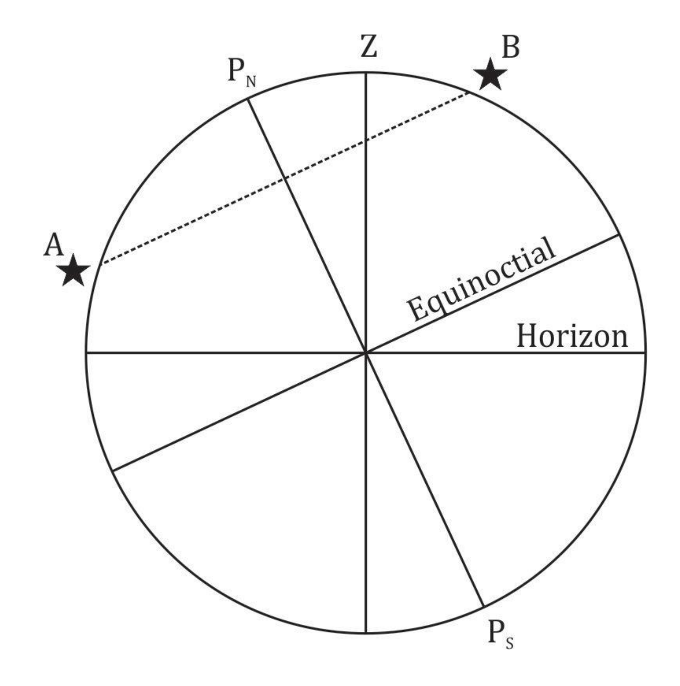
عند تلك اللحظة تحديداً ستكون الزاوية السمتية Az للجرم إما باتجاه الشمال أو الجنوب بالنسبة إلى الراصد، وزاوية الساعة المحلية LHA ستكون إما 0° درجة أو 180° درجة.

- يحدث العبور الزوالي العلوي عندما يكون الجرم السماوي على نفس خط طول الراصد، لذا فإن زاوية الساعة المحلية LHA تساوي 0° درجة.
- يحدث العبور الزوال السفلي عندما يكون الجرم السماوي على خط الطول المقابل لخط طول الراصد، فإن زاوية الساعة المحلية LHA تساوي 180°درجة.

عدد الأجرام السماوية التي تظهر وهي تعبر على خط الزوال السفلي للراصد يعتبر قليل نسبياً. ما لم يكن الراصد على خط عرض عالٍ جدًا، لذلك فإن مصطلح العبور الزوالي يشير دائمًا إلى خط الزوال العلوي ما لم يذكر العبور السفلي.

العبور الزوالي في خطوط العرض الشمالية: -

1) الجرم السماوي A يعبر خط الزوال السفلي للراصد، وزاويته السمتية Az لحظة العبور باتجاه الشمال N.
2) الجرم السماوي B يعبر خط الزوال العلوي للراصد، وزاويته السمتية Az لحظة العبور باتجاه الجنوب S.



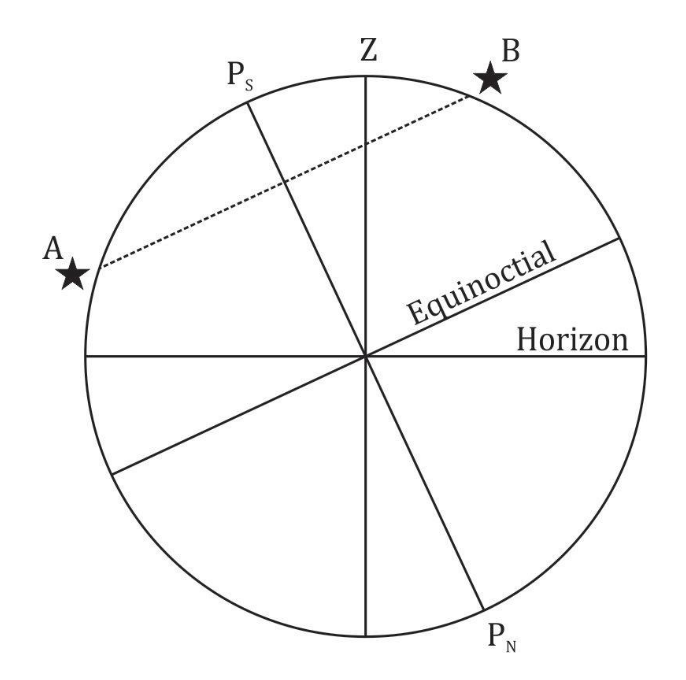
في خطوط العرض الشمالية، إذا كانت إشارة درجة ميل Dec الجرم السماوي شمالية كذلك. فإن زاوية السمتية Az تكون إما شمالية أو جنوبية، وذلك يعتمد على ما إذا كانت قيمة درجة الميل أكبر أو أصغر من قيمة درجة العرض.

- **إذا كانت قيمة الميل أكبر من قيمة العرض فإن اتجاه الجرم السماوي يكون شمالي N.**
- **إذا كانت قيمة الميل أصغر من قيمة العرض فإن اتجاه الجرم السماوي يكون جنوبي S.**

بينما إذا كانت اشارة ميل الجرم السماوي جنوبية، بمعنى أن تكون مخالفة لإشارة خط العرض الشمالية. فإن اتجاه الجرم السماوي يكون جنوبي S.

العبور الزوالي في خطوط العرض الجنوبية: -

1) **الجرم السماوي A يعبر خط الزوال السفلي للراصد، وزاويته السمتية Az لحظة العبور باتجاه الجنوب S.**
2) **الجرم السماوي B يعبر خط الزوال العلوي للراصد، وزاويته السمتية Az لحظة العبور باتجاه الشمال N.**



في خطوط العرض الجنوبية، إذا كانت إشارة درجة ميل Dec الجرم السماوي جنوبية كذلك. فإن زاوية السمتية Az تكون إما شمالية أو جنوبية، وذلك يعتمد على ما إذا كانت قيمة درجة الميل أكبر أو أصغر من قيمة درجة العرض.

- **إذا كانت قيمة الميل أكبر من قيمة العرض فإن اتجاه الجرم السماوي يكون جنوبي S.**
- **إذا كانت قيمة الميل أصغر من قيمة العرض فإن اتجاه الجرم السماوي يكون شمالي N.**

بينما إذا كانت اشارة ميل الجرم السماوي شمالية، بمعنى أن تكون مخالفة لإشارة خط العرض الجنوبية. فإن اتجاه الجرم السماوي يكون شمالي N.

في العبور الزوال السفلي، وعند خطوط العرض الشمالية، يكون اتجاه الجرم السماوي دائمًا باتجاه الشمال، لأن الجرم السماوي يكون واقعاُ على الجانب الآخر من القطب الشمالي. على العكس من ذلك، عند خطوط العرض الجنوبية، يكون اتجاه الجرم السماوي دائمًا باتجاه الجنوب بالنسبة إلى الراصد.

عندما يكون الجرم السماوي على خط الزوال المحلي للراصد، فإنه يقع في أقصى ارتفاع له ويسمى حينها غاية الارتفاع أو الارتفاع الزوالي H للجرم السماوي، وعند تلك اللحظة تتساوى قيمة كل من الزمن النجمي المحلي LST مع المطلع المستقيم RA للجرم السماوي.

أياً كانت الطريقة المســتخدمة في معرفة وقت عبور الجرم الســماوي لخط زوال الراصــد فإن الخطوات المتبعة في رصد الارتفاع الزوالي من أجل إيجاد خط عرض المكان هي:-

- **ارصد ارتفاع الجرم السماوي لحظة عبوره خط الزوال H.**
- **سجل الوقت المتوسط لغرينتش GMT.**
- **صحح الارتفاع الزوالي للحصول على الارتفاع الزوالي الحقيقي H.**
- **احسب البعد السمتي الزوالي mer.ZD بمعلومية الارتفاع الزوالي H .**
- **استخرج ميل Dec الجرم السماوي بمعلومية وقت الرصد.**
- **اجمع بين الميل والبعد السمتي بحسب ما يتناسب مع الحالات الأربع لإيجاد عرض المكان.**

ومن أجل توضــيح الخطوة الأخيرة المتعلقة بالجمع ما بين ميل الجرم الســماوي وبعده الســمتي لإيجاد عرض المكان لابد من إتباع الخطوات التالية من أجل تجنب الالتباس الذي قد يحدث فيما يتعلق بعملية الجمع أو الطرح لإيجاد قيمة العرض.

- نعطي الارتفاع الزوالي الحقيقي H إشــارة الشــمال N أو الجنوب S بحســب اتجاه الأفق الأقرب، والذي ســيتضــح للراصد أثناء عملية الرصد، أو باتباع القواعد السابقة الموضحة لاتجاه الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي.

- نعكس هذه الإشارة بعد حساب البعد السمتي الزوالي mer.ZD .

- نجمع ما بين الميل والبعد السمتي للحصول على عرض المكان وذلك بأخذ المجموع في حال اتفقا في الإشارة ويسمى العرض حينها بنفس الإشارة، أو بأخذ الفرق بينهما في حال اختلفا في الإشارة ويسمى العرض حينها إما بإشارة الميل أو بإشارة البعد السمتي أيهما أكبر قيمة.

مثال: عند وقت المنطقة $ZT\ 11^h\ 44^m\ 52^s$ من يوم 10 April 2015 تم رصـــد ارتفاع الشـــمس باتجاه الجنوب لحظة عبورها خط زوال الراصد E″45′07 °49 باستخدام جهاز الثيودولايت ،فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي	83° 21′ 06″ S
ميل الشمس	07° 52′ 48″ N

احسب عرض المكان.

الارتفاع الزوالي الظاهري	83° 21′ 06″	
تصحيح الانكسار	0.1′	-
الارتفاع الزوالي الحقيقي	83° 21′ 00″	S

الارتفاع الزوالي الحقيقي	83° 21′ 00″	S
~ 90°		
البعد السمتي الزوالي الحقيقي	06° 39′ 00″	N
ميل الجرم السماوي	07° 52′ 48″	N
عرض المكان	14° 31′ 48″	N

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT\ 08^h\ 48^m\ 27^s$ من يوم 22 June 2015 تم رصد ارتفاع الحافة السفلى للشمس باتجاه الجنوب لحظة عبورها خط زوال الراصد $48°\ 22'\ 24''E$ بجهاز السدس. احسب عرض المكان إذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي	83° 49′ 13″ S
خطأ الجهاز (On arc)	1.4′
ارتفاع الراصد	4m
ميل الشمس	23° 26′ 00″ N
نصف قطر الشمس	15′ 44″

الارتفاع الزوالي السدسي	83° 49′ 13″	
خطأ الجهاز On arc -	1.4′	-
الارتفاع الزوالي المرصود	83° 47′ 49″	

الارتفاع الزوالي المرصود	83° 47′ 49″	
تصحيح الانخفاض (4 meter)	3.5′	-
الارتفاع الزوالي الظاهري	83° 44′ 19″	

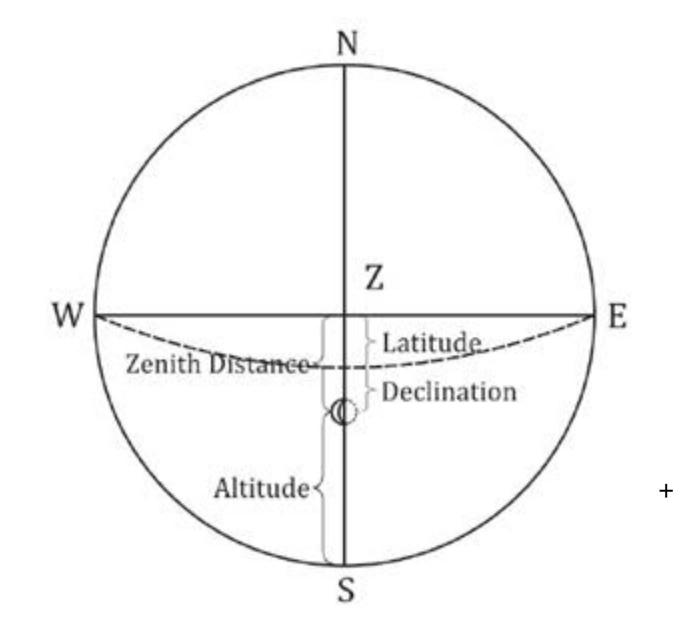
الارتفاع الزوالي الظاهري	83° 44′ 19″	
تصحيح الانكسار	0.1′	-
نصف القطر L.L +	15′ 44″	+
الارتفاع الزوالي الحقيقي	83° 59′ 57″	S

الارتفاع الزوالي الحقيقي	83° 59′ 57″	S
~ 90°		
البعد السمتي الزوالي الحقيقي	06° 00′ 03″	N
ميل الجرم السماوي	23° 26′ 00″	N
عرض المكان	29° 26′ 03″	N

مثال: عند وقت غرينتش $GMT\ 08^h\ 31^m\ 03^s$ من يوم 20 Oct 2015 تم رصد ارتفاع الحافة السفلى للشمس باتجاه الجنوب لحظة عبورها خط زوال الراصد 48° 26′ 30″E باستخدام جهاز السدس، فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي	50° 06′ 47″ S
خطأ الجهاز (Off arc)	1.2 ′
ارتفاع الراصد	1.8m
ميل الشمس	10° 16′ 12″ S
نصف قطر الشمس	16′ 03″

احسب عرض المكان .



الارتفاع الزوالي السدسي	50° 06′ 47″	
خطأ الجهاز Off arc +	1.2 ′	+
الارتفاع الزوالي المرصود	50° 07′ 59″	

الارتفاع الزوالي المرصود	50° 07′ 59″	
تصحيح الانخفاض (1.8 meter)	2.3′	-
الارتفاع الزوالي الظاهري	50° 05′ 41″	
الارتفاع الزوالي الظاهري	50° 05′ 41″	
تصحيح الانكسار	0.8 ′	-
نصف القطر L.L +	00° 16′ 03″	+
الارتفاع الزوالي الحقيقي	50° 20′ 56″	S

الارتفاع الزوالي الحقيقي	50° 20′ 56″	S
~ 90°		
البعد السمتي الزوالي الحقيقي	39° 39′ 04″	N
ميل الجرم السماوي	10° 16′ 12″	S
عرض المكان	29° 22′ 52″	N

مثال: عند وقت غرينتش GMT $21^h\ 12^m\ 49^s$ من يوم 22 Dec 2014 تم رصـــد ارتفاع نجم العيوق Capella باتجاه الشمال لحظة عبوره خط زوال الراصد $29°\ 53'\ 17''$E باستخدام جهاز الثيودولايت ،فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي	**$75°\ 12'\ 30''$ N**
ميل النجم	**$46°\ 00'\ 40''$ N**

احسب عرض المكان .

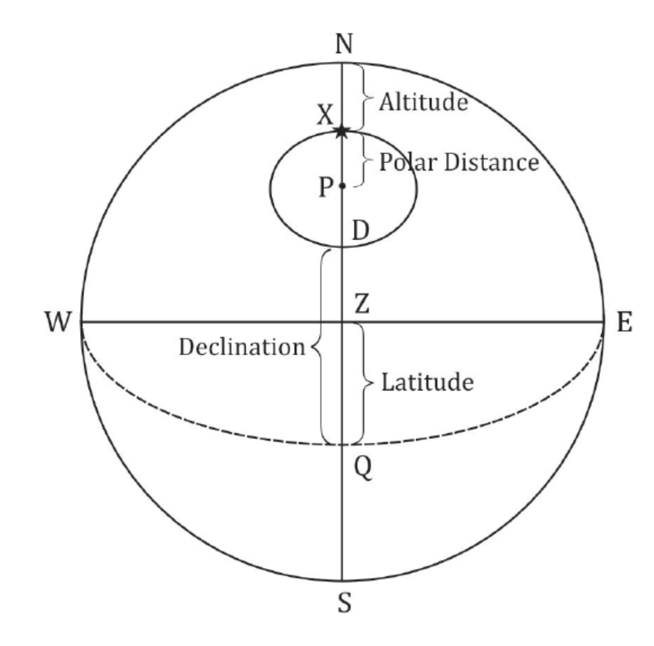
الارتفاع الزوالي الظاهري	**$75°\ 12'\ 30''$**	
تصحيح الانكسار	**$0.3'$**	**-**
الارتفاع الزوالي الحقيقي	**$75°\ 12'\ 12''$**	**N**

الارتفاع الزوالي الحقيقي	**$75°\ 12'\ 12''$**	**N**
~ 90°		
البعد السمتي الزوالي الحقيقي	**$14°\ 47'\ 48''$**	**S**
ميل الجرم السماوي	**$46°\ 00'\ 40''$**	**N**
عرض المكان	**$31°\ 12'\ 52''$**	**N**

مثال: عند وقت غرينتش GMT 21^h^ 12^m^ 40^s^ من يوم 20 Oct 2014 تم رصـــد ارتفاع نجم أنور الفرقدين Kochab لحظة عبوره خط زوال الراصد السفلي 55° 15′ E باستخدام جهاز الثيودولايت، فإذا علمت بأن:-

الارتفاع الزوالي السفلي	09° 24′ 30″
ميل النجم	74° 05′ 46″ N

احسب عرض المكان .



الارتفاع الزوالي السفلي الظاهري	09° 24′ 30″	
تصحيح الانكسار	5.7′	-
الارتفاع الزوالي السفلي الحقيقي	09° 18′ 48″	

الارتفاع الزوالي السفلي الحقيقي	09° 18′ 48″	
~ 90°		
البعد السمتي الزوالي السفلي الحقيقي	80° 41′ 12″	
ميل الجرم السماوي	74° 05′ 46″	+
(البعد السمتي + ميل الجرم)	154° 46′ 58″	
~ 180°		
عرض المكان	25° 13′ 02″	N

رصد الارتفاع الزوالي هي طريقة قديمة لتحديد خط العرض، حيث يمكن معرفة الزاوية السمتية Az للجرم السماوي بشكل لا لبس فيه إما باتجاه الجنوب أو الشمال. هنا يختفي علم المثلثات ويختزل إلى بعض الحسابات البسيطة. تتمثل هذه الطريقة في التنبؤ التقريبي بلحظة العبور الزوالي المحلي. حيث يأخذ الراصد مجموعة من الرصدات باستخدام آلة السدس أو الثيودولايت قبل عدة دقائق من العبور، ثم يحدد أعلى نقطة يبلغها الجرم السماوي في السماء بالإضافة إلى أخذ بعض الرصدات بعد العبور حينما يلاحظ الراصد بأن الجرم السماوي قد بدأ بالانخفاض. ثم يقوم بإجراء التصحيحات اللازمة لقرب الزوال من أجل تصحيح الارتفاع والحصول على الارتفاع الزوالي الحقيقي مقابل الوقت.

من أجل تسهيل الحساب سنقوم هنا بالتمييز فيما يتعلق باتجاه الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي. سواء بلغ الجرم ذروة ارتفاعه في الجنوب أو في الشمال، وذلك من خلال إدخال متغير جديد (±) في العلاقة الرياضية لغرض ضبط الإشارات.

تعمل هذه العلاقة سواء كنت في نصفي الكرة الأرضية الشمالي أو الجنوبي، داخل أو خارج نطاق المناطق المدارية. فما عليك سوى اتباع الإشارات الصحيحة الخاصة باتجاه الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي واشارة ميله، وستحصل على خط العرض المطلوب Lat بمعلومية كل من الارتفاع الزوالي H، وميل الجرم السماوي Dec باستخدام العلاقة الرياضية التالية: -

$$Lat = \pm H + Dec + 90°$$

(+) الارتفاع الزوالي شمالي، (-) الارتفاع الزوالي جنوبي

في حال تجاوزت قيمة خط العرض المحسوب °90 يتوجب حينها حذف °180 وعكس الإشارة، بينما في حال تجاوزت °180 يتوجب حينها حذف °180 والاحتفاظ بنفس الإشارة من أجل الحصول على خط العرض المطلوب، كما سنضيف هنا كذلك العلاقة الرياضية الخاصة بغاية ارتفاع الجرم السماوي لمساعدتك في التحقق من صحة الحساب.

$$H = Lat - Dec - 90°$$

في حال تجاوزت قيمة الارتفاع الزوالي المحسوب °90 يتوجب حينها حذف °180 وعكس الإشارة من أجل الحصول على الارتفاع الزوالي H واتجاهه المطلوب.

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $15^h\ 53^m\ 27^s$ GMT من يوم 22 Feb 2022 تم رصد ارتفاع نجم رجل الجبار Rigel باتجاه الجنوب لحظة عبوره خط زوال الراصد $48°\ 00'\ 00''$E، فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي الحقيقي	**$52°\ 34'\ 25''$ S**
ميل النجم	**$08°\ 10'\ 35''$ S**

احسب عرض المكان.

$$Lat = \pm H + Dec + 90°$$

$$Lat = -52°\ 34'\ 25'' + (-08°\ \ 10'\ 35'') + 90°$$

$$Lat = +29°\ \ 15'$$

$$Lat = +29°\ \ 15'\ \ \mathrm{N}$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $14^h\ 58^m\ 41^s$ GMT من يوم 02 May 2020 تم رصد ارتفاع الشمس باتجاه الشمال لحظة عبوره خط زوال الراصد $45°\ 26'\ 00''$W، فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي الحقيقي	**$52°\ 48'\ 35''$ N**
ميل الشمس	**$15°\ 38'\ 25''$ N**

احسب عرض المكان.

$$Lat = \pm H + Dec + 90°$$

$$Lat = +52°\ 48'\ 35''\ + 15°\ 38'\ 25'' + 90°$$

$$Lat = +158°\ \ 27'\ N \qquad \text{ـ} \quad 180°$$

$$Lat = -\,21°\ \ 33'$$

$$Lat = \ 21°\ \ 33'\ S$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش GMT 23h 12m 09s من يوم 23 Oct 2021 تم رصد ارتفاع نجم مرفق الثريا Mirfak باتجاه الشمال لحظة عبوره خط زوال الراصد 30° 50′ 22″E، فإذا علمت أن :-

الارتفاع الزوالي الحقيقي	**68° 42′ 59″ N**
ميل النجم	**49° 56′ 12″ N**

احسب عرض المكان.

$$Lat = \pm H + Dec + 90°$$

$$Lat = +68° 42' 59'' + 49° 56' 12'' + 90°$$

$$Lat = +208° 39' 11'' \; N \qquad \backsim \quad 180°$$

$$Lat = +28° 39' 11''$$

$$Lat = 28° 39' 11'' \, N$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش GMT 00h 14m 36s من يوم 23 Dec 2021 بلغ نجم الفرد Alphard أقصى ارتفاع له، وذلك لحظة عبوره خط زوال الراصد E ′44.4 °46، فإذا علمت أن :-

خط عرض الراصد	**24° 38′ 36″ N**
ميل النجم	**08° 45′ 10″ S**

احسب غاية ارتفاع النجم وجهته.

$$H = Lat - Dec - 90°$$

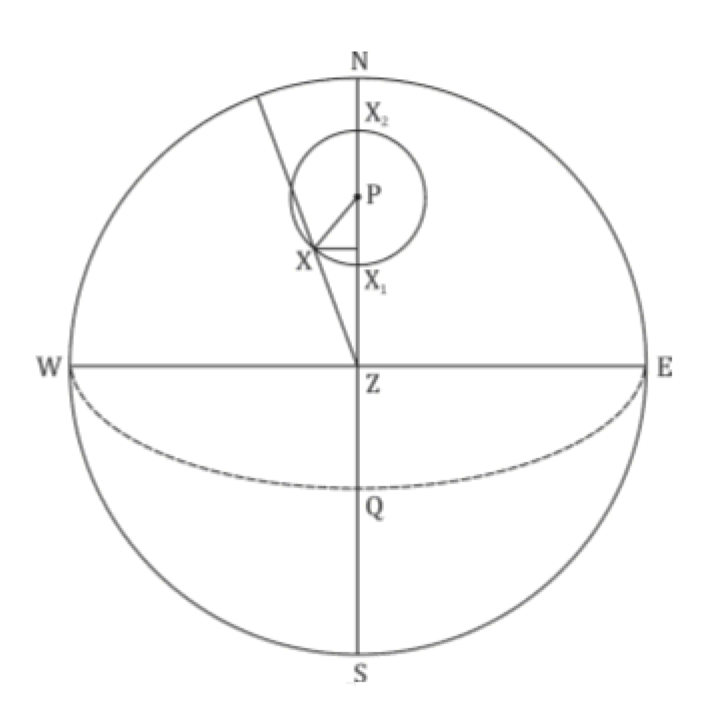
$$H = +24° 38' 36'' - (-08° 45' 10'') - 90°$$

$$H = -56° 36' 14''$$

$$H = 56° 36' 14'' \, S$$

إيجاد العرض الجغرافي بطريقة النجم القطبي

النجم القطبي هو الجدي ،ويعرف كذلك بنجم الشمال Polaris ،وهو ألمع نجوم كوكبة الدب الأصغر ،ويعتبر من أشهر النجوم الشمالية على الإطلاق ليس بسبب لمعانه فهناك العديد من النجوم الأشد لمعاناً منه إنما اشتهر بسبب موقعه في السماء حيث يقع النجم القطبي قريباً جداً من القطب الشمالي، ويدور حوله أثناء حركته اليومية على محيط دائرة نصف قطرها تمثل بُعده القطبي PD الذي يعادل ″45 ′38 °00 تقريباً، وهذا ما يفسر تسميته بنجم الشمال كما يعتبر من النجوم الأبدية الظهور بالنسبة لخطوط العرض الشمالية فهو لا يغرب أبداً ،وقد استخدم منذ القدم من قبل الملاحين في تحديد الاتجاهات ومعرفة خط العرض الجغرافي .



NZ = PQ = 90°

NZ = NP + PZ …. (1)

PQ = QZ + PZ …. (2)

NP = QZ → Altitude of North Pole = Latitude of Observer

تقوم فكرة إيجاد خط العرض بطريقة النجم القطبي على حقيقة أن ارتفاع نقطة القطب الشـمالي P يسـاوي خط عرض الراصـد Lat، ولو افترضـنا انطباق النجم القطبي على نقطة القطب لكان بالإمكان القول بأن ارتفاع النجم

القطبي NX أيضاً يساوي خط عرض الراصد. غير أن الواقع بخلاف ذلك حيث يدور النجم القطبي حول القطب الشمالي P بدائرة نصف قطرها يعادل بعده القطبي PX .

في الشكل أعلاه بيان للحركة اليومية الظاهرية للنجم القطبي X

عند X_1 : ارتفاع النجم القطبي NX_1، تكون قيمة عرض الراصد تساوي $NX_1 - PX_1$

عند X_2 : ارتفاع النجم القطبي NX_2، تكون قيمة عرض الراصد تساوي $PX_2 + NX_2$

عند أي موضع أخر للنجم القطبي X، تكون قيمة عرض الراصد تساوي $NX \pm Corr.$

وبمعنى آخر يمكننا القول بأنه عند لحظة المرور الزوالي العلوي (LHA = 0°) للنجم القطبي فإن قيمة العرض تكون مساوية للفرق ما بين ارتفاع النجم وبعده القطبي ،بينما عند لحظة المرور الزوالي السفلي (LHA = 180°) للنجم القطبي فإن قيمة العرض تكون مساوية لمجموع ارتفاع النجم وبعده القطبي ،ولا تكون قيمة العرض مساوية لارتفاع النجم إلا عندما تكون (LHA = 90°or 270°)، وفيما عدا هذا فإننا نحتاج إلى تصحيح ارتفاع النجم القطبي للحصول على خط عرض الراصد ،ويمكن حساب قيمة تصحيح الارتفاع .Corr من خلال المعادلة[1] والتي تعتمد بدرجة عالية على قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم القطبي.

$$Corr. = -PD \times \cos(LHA) + (PD \div 2) \times \sin(PD) \times \sin^2(LHA) \times \tan(Lat.)$$

وبما أن المطلوب إيجاده هو خط العرض .Lat فيمكن التعويض عن قيمته في المعادلة بقيمة ارتفاع النجم القطبي h للحصول على قيمة التصحيح .Corr الذي يجمع مع الارتفاع h إذا كانت إشارته موجبة أو إذا كانت الزاوية الساعية المحلية للنجم القطبي LHA تقع في الربع الثاني والثالث من الدائرة، ويطرح منه إذا كانت إشارته سالبة أو إذا كانت الزاوية الساعية المحلية LHA تقع في الربع الأول والرابع من الدائرة للحصول على خط عرض الراصد Lat .

$$Lat = h \pm Corr.$$

$$Lat = h + Corr. \quad \Rightarrow \quad 270° > LHA > 090°$$

$$Lat = h - Corr. \quad \Rightarrow \quad 270° < LHA < 090°$$

[1] يمكن اختصار المعادلة لتكون $Corr. = PD \times \cos(LHA)$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش GMT 06^h 30^m 00^s من يوم 5 Sep. 2016 تم رصـد ارتفاع نجم الجدي Polaris باستخدام جهاز الثيودولايت، فإذا علمت أن :-

خط طول الراصد	**16° 56′ W**
الارتفاع الظاهري للنجم	**15° 28′ 35″**
البعد القطبي للنجم	**00° 40′ 02″**
الزاوية الساعية المحلية للنجم	**22° 07′ 47″**

أوجد خط عرض الراصد

الارتفاع الظاهري للنجم	**15° 28′ 35″**	
تصحيح الانكسار	**3.5 ′**	**-**
الارتفاع الحقيقي للنجم	**15° 25′ 05″**	

$$\text{Corr.} = -\,PD \times \cos(LHA) + (PD \div 2) \times \sin(PD) \times \sin^2(LHA) \times \tan(\text{Lat.})$$

$$\text{Corr.} = -\,00°\,40'\,02'' \times \cos(22°\,07'\,47'') + (00°\,40'\,02'' \div 2) \times \sin(00°\,40'\,02'') \times \sin(22°\,07'\,47'') \times \sin(22°\,07'\,47'') \times \tan(15°\,25'\,05'')$$

$$\text{Corr.} = -\,00°\,37'\,06''$$

$\text{Lat} = h - \text{Corr.}$ ⇨ $270° < LHA < 090°$

$$\text{Lat} = 15°\,25'\,05'' - 00°\,37'\,06''$$

$$\text{Lat} = 14°\,47'\,59''\ N$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT\ 02^h\ 45^m\ 46^s$ من يوم 30 Dec. 2016 تم رصد ارتفاع نجم الجدي Polaris باستخدام جهاز الثيودولايت ،فإذا علمت أن :-

خط طول الراصد	48° 00′ E
الارتفاع الظاهري للنجم	28° 43′ 59″
البعد القطبي للنجم	00° 39′ 59″
الزاوية الساعية المحلية للنجم	145° 04′ 37″

أوجد خط عرض الراصد

الارتفاع الظاهري للنجم	28° 43′ 59″	
تصحيح الانكسار	1.8′	-
الارتفاع الحقيقي للنجم	28° 42′ 11″	

$$Corr. = -PD \times \cos(LHA) + (PD \div 2) \times \sin(PD) \times \sin^2(LHA) \times \tan(Lat.)$$

$$\begin{aligned} Corr. = &- 00°\ 39'\ 59'' \times \cos(145°\ 04'\ 37'') \\ &+ (00°\ 39'\ 59'' \div 2) \times \sin(00°\ 39'\ 59'') \\ &\times \sin(145°\ 04'\ 37'') \times \sin(145°\ 04'\ 37'') \\ &\times \tan(28°\ 42'\ 11'') \end{aligned}$$

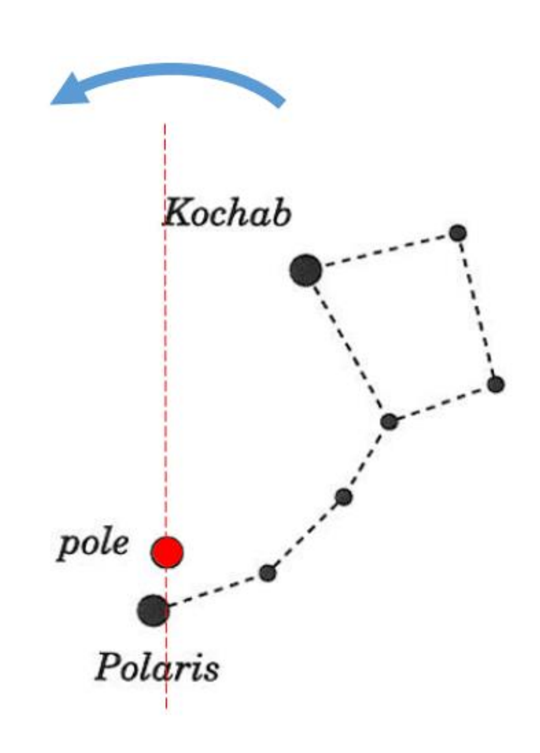
$$Corr. = 00°\ 32'\ 44''$$

$Lat = h + Corr.$ ⇨ $270° > LHA > 090°$

$$Lat = 28°\ 42'\ 11'' + 00°\ 32'\ 44''$$

$$Lat = 29°\ 14'\ 55''\ N$$

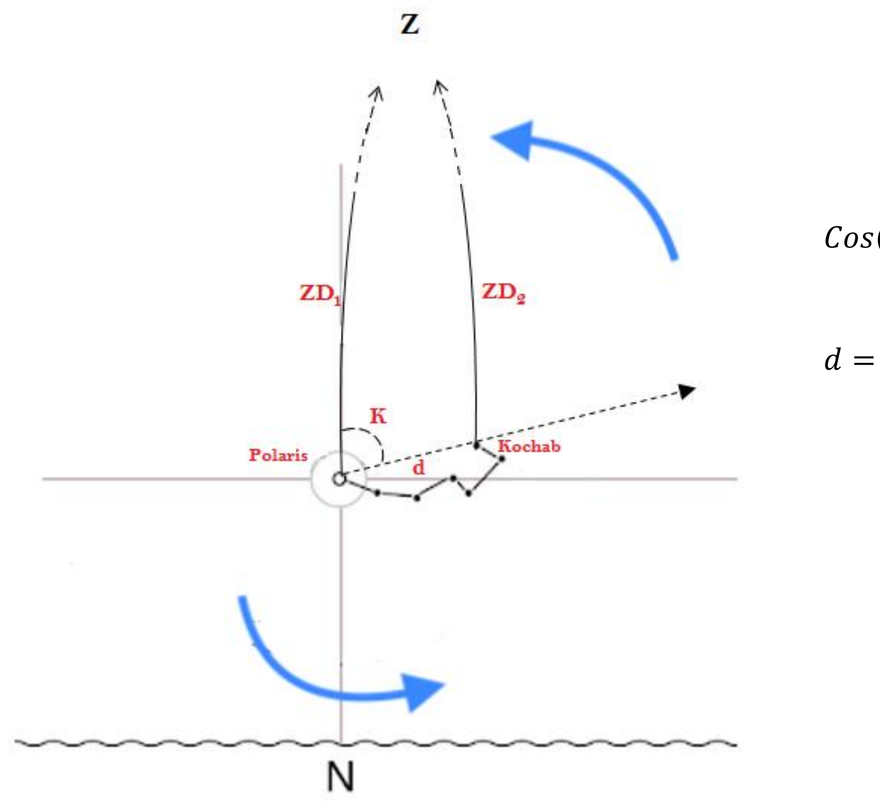
يمكن استخدام ارتفاع نجم الجدي Polaris لإيجاد خط العرض مباشرةً من المواضع النسبية للنجوم الأخرى في كوكبة الدب الأصغر. لا سيما نجم أنور الفرقدين Kochab متى كان النجم مرئيًا. تصف هذه الطريقة كيف يمكن للراصد معرفة التصحيح اللازم والمطلوب اضافته أو حذفة من مقدار ارتفاع نجم الجدي للحصول على خط العرض، حيث أن موقع نجم الجدي Polaris بالنسبة إلى القطب يمكن الاستدلال عليه من خلال نجم أنور الفرقدين Kochab بينما يدور النجمين حول القطب الشمالي Pole.



في الملاحة الفلكية الحديثة، لا نستخدم مثل هذه الأساليب إذ أننا نستخرج التصحيحات من التقويم البحري، والتي تتغير من سنة إلى أخرى. حيث يتكون التصحيح الكلي من ثلاثة أجزاء (a_2 , a_1 , a_0) يتم تطبيقها على الارتفاع المقاس لنجم الجدي للحصول على خط العرض. هذه العملية فريدة من نوعها من حيث أنها تقنية الملاحة الوحيدة الموصوفة بالكامل في التقويم البحري، والتي لا تتعامل تعليماتها إلا مع البيانات الفلكية التي يوفرها التقويم، والأهم أنها تتطلب المعرفة المسبقة بخط طول الراصد من أجل معرفة الزاوية الساعية المحلية لنجم الجدي Polaris.

طريقتنا التي نطرحها هنا هي طريقة جديدة ومستقلة عن الوقت والتاريخ والاهم أنها مستقلة كذلك عن خط الطول، وهو بالضبط ما نحن بحاجة إليه.

تقتصر مهمة الراصد في رصد ارتفاع كل من نجم الجدي Polaris، ونجم أنور الفرقدين Kochab بشكل متزامن ثم استخدام قوانين المثلثات الكروية لحساب ومعرفة الزاوية K، وهي الزاوية عند نجم الجدي Polaris والمحصورة بين قوس الدائرة الرأسية المار بنجم الجدي والذي يمثل بعده السمتي ZD_1، وقوس البعد الزاوي d بين النجمين، بينما يكون القوس الثالث في المثلث الكروي هو قوس الدائرة الرأسية المار بنجم أنور الفرقدين Kochab، والذي يمثل بعده السمتي ZD_2، وذلك يتم باستخدام المعادلة الرياضية.



$$Cos(K) = \frac{Cos(ZD_2) - Cos(ZD_1)Cos(d)}{Sin(ZD_1)Sin(d)}$$

$$d = 16.57778°$$

تحقيقًا لهذه الغاية، أنشأنا مجموعة حديثة من جداول تصحيح ارتفاع نجم الجدي Polaris تمتد من سنة 2022 ولغاية سنة 2055 بمعدل ثلاثة سنوات بين جدول والذي يليه. حيث يمكننا أن نستخرج التصحيحات من هذه الجداول بحسب مقدار الزاوية K وبحسب السنة، وقد يستلزم الأمر قيام الراصد بعملية التعديل بين السطرين أثناء التعامل مع جداول التصحيحات سواء من أجل استخراج قيمة التصحيح المقابل لمقدار الزاوية K أو في حال لم يتم تخصيص جدول خاص للسنة المطلوب.

Polaris correction 2022

K	Corr.	K
10°	+37.67`-	190°
20°	+35.67`-	200°
30°	+32.58`-	210°
40°	+28.50`-	220°
50°	+23.55`-	230°
60°	+17.88`-	240°
70°	+11.66`-	250°
80°	+05.11`-	260°
90°	-01.61`+	270°
100°	-08.27`+	280°
110°	-14.67`+	290°
120°	-20.63`+	300°
130°	-25.96`+	310°
140°	-30.50`+	320°
150°	-34.13`+	330°
160°	-36.71`+	340°
170°	-38.19`+	350°

Polaris correction 2025

K	Corr.	K
10°	+36.71`-	190°
20°	+34.63`-	200°
30°	+31.49`-	210°
40°	+27.39`-	220°
50°	+22.46`-	230°
60°	+16.84`-	240°
70°	+10.72`-	250°
80°	+04.24`-	260°
90°	-02.31`+	270°
100°	-08.92`+	280°
110°	-15.04`+	290°
120°	-20.81`+	300°
130°	-25.95+	310°
140°	-30.31`+	320°
150°	-33.74`+	330°
160°	-36.16`+	340°
170°	-37.48`+	350°

Polaris correction 2028

K	Corr.	K
10°	+35.83`-	190°
20°	+33.64`-	200°
30°	+30.43`-	210°
40°	+26.29`-	220°
50°	+21.35`-	230°
60°	+15.76`-	240°
70°	+09.69`-	250°
80°	+03.33`-	260°
90°	-03.12`+	270°
100°	-09.48`+	280°
110°	-15.55`+	290°
120°	-21.14`+	300°
130°	-26.09`+	310°
140°	-30.25`+	320°
150°	-33.50`+	330°
160°	-35.73`+	340°
170°	-36.88`+	350°

Polaris correction 2031

K	Corr.	K
10°	+35.07`-	190°
20°	+32.78`-	200°
30°	+29.49`-	210°
40°	+25.30`-	220°
50°	+20.35`-	230°
60°	+14.77`-	240°
70°	+08.74`-	250°
80°	+02.45`-	260°
90°	-03.91`+	270°
100°	-10.15`+	280°
110°	-16.07`+	290°
120°	-21.51`+	300°
130°	-26.29`+	310°
140°	-30.28`+	320°
150°	-33.35`+	330°
160°	-35.41`+	340°
170°	-36.40`+	350°

Polaris correction 2034

K	Corr.	K
10°	+34.35`-	190°
20°	+31.98`-	200°
30°	+30.00`-	210°
40°	+24.40`-	220°
50°	+19.44`-	230°
60°	+13.88`-	240°
70°	+07.91`-	250°
80°	+01.69`-	260°
90°	-04.57`+	270°
100°	-11.66`+	280°
110°	-16.49`+	290°
120°	-21.78`+	300°
130°	-26.41`+	310°
140°	-30.24`+	320°
150°	-33.15`+	330°
160°	-35.06`+	340°
170°	-35.92`+	350°

Polaris correction 2037

K	Corr.	K
10°	+33.55`-	190°
20°	+31.11`-	200°
30°	+27.73`-	210°
40°	+23.50`-	220°
50°	+18.55`-	230°
60°	+13.04`-	240°
70°	+07.13`-	250°
80°	+01.02`-	260°
90°	-05.13`+	270°
100°	-11.12`+	280°
110°	-16.77`+	290°
120°	-21.90`+	300°
130°	-26.38`+	310°
140°	-30.05`+	320°
150°	-32.81`+	330°
160°	-34.58`+	340°
170°	-35.31`+	350°

Polaris correction 2040

K	Corr.	K
10°	+32.63`-	190°
20°	+30.13`-	200°
30°	+26.72`-	210°
40°	+22.48`-	220°
50°	+17.58`-	230°
60°	+12.12`-	240°
70°	+06.31`-	250°
80°	+00.31`-	260°
90°	-05.70`+	270°
100°	-11.54`+	280°
110°	-17.02`+	290°
120°	-21.98`+	300°
130°	-26.27`+	310°
140°	-29.77`+	320°
150°	-32.37`+	330°
160°	-34.00`+	340°
170°	-34.59`+	350°

Polaris correction 2043

K	Corr.	K
10°	+31.67`-	190°
20°	+29.09`-	200°
30°	+25.63`-	210°
40°	+21.40`-	220°
50°	+16.50`-	230°
60°	+11.10`-	240°
70°	+05.38`-	250°
80°	-00.51`+	260°
90°	-06.39`+	270°
100°	-12.06`+	280°
110°	-17.36`+	290°
120°	-22.14`+	300°
130°	-26.25`+	310°
140°	-29.56`+	320°
150°	-31.98`+	330°
160°	-33.43`+	340°
170°	-33.87`+	350°

Polaris correction 2046

K	Corr.	K
10°	+30.78`-	190°
20°	+28.10`-	200°
30°	+24.57`-	210°
40°	+20.30`-	220°
50°	+15.40`-	230°
60°	+10.03`-	240°
70°	+04.37`-	250°
80°	-01.43`+	260°
90°	-07.18`+	270°
100°	-12.71`+	280°
110°	-17.85`+	290°
120°	-22.45`+	300°
130°	-26.37`+	310°
140°	-29.49`+	320°
150°	-31.72`+	330°
160°	-32.98`+	340°
170°	-33.26`+	350°

Polaris correction 2049

K	Corr.	K
10°	+30.00'-	190°
20°	+27.22'-	200°
30°	+23.61'-	210°
40°	+19.28'-	220°
50°	+14.37'-	230°
60°	+09.01'-	240°
70°	+03.39'-	250°
80°	-02.33'+	260°
90°	-07.98'+	270°
100°	-13.39'+	280°
110°	-18.38'+	290°
120°	-22.82'+	300°
130°	-26.57'+	310°
140°	-29.51+	320°
150°	-31.56'+	330°
160°	-32.65+	340°
170°	-32.76'+	350°

Polaris correction 2052

K	Corr.	K
10°	+29.28'-	190°
20°	+26.42'-	200°
30°	+22.74'-	210°
40°	+18.37'-	220°
50°	+13.44'-	230°
60°	+08.11'-	240°
70°	+02.53'-	250°
80°	-03.12'+	260°
90°	-08.68'+	270°
100°	-13.96'+	280°
110°	-18.83'+	290°
120°	-23.12'+	300°
130°	-26.71'+	310°
140°	-29.50'+	320°
150°	-31.38'+	330°
160°	-32.33'+	340°
170°	-32.29'+	350°

Polaris correction 2055

K	Corr.	K
10°	+28.51'-	190°
20°	+25.57'-	200°
30°	+21.85'-	210°
40°	+17.47'-	220°
50°	+12.56'-	230°
60°	+07.26'-	240°
70°	+01.76'-	250°
80°	-03.80'+	260°
90°	-09.25'+	270°
100°	-14.41'+	280°
110°	-19.14'+	290°
120°	-23.28'+	300°
130°	-26.71'+	310°
140°	-29.34'+	320°
150°	-31.08'+	330°
160°	-31.88'+	340°
170°	-31.72'+	350°

الخطوات المتبعة في رصد نجم الجدي Polaris من أجل إيجاد خط العرض الجغرافي بدلالة نجم أنور الفرقدين Kochab هي على النحو التالي: -

- **ارصد ارتفاع نجم الجدي Polaris.**
- **ثم ارصد ارتفاع نجم أنور الفرقدين Kochab.**
- **صحح الارتفاعات للحصول على الارتفاع الحقيقي للنجمين.**
- **بدلالة الارتفاع الحقيقي اوجد البعد السمتي للنجمين.**
- **احسب مقدار الزاوية K بمعلومية كل من البعد السمتي ZD_1 لنجم الجدي والبعد السمتي ZD_2 لنجم أنور الفرقدين والبعد الزاوي بينهما d من خلال المعادلة الرياضية.**

$$Cos(K) = \frac{Cos(ZD_2) - Cos(ZD_1)Cos(d)}{Sin(ZD_1)Sin(d)}$$

$$d = 16.57778°$$

- **المعادلة الرياضية تعطي قيمة الزاوية K من الدرجة صفر وحتى الدرجة 180، وذلك حينما يكون نجم أنور الفرقدين في الجهة الشرقية من خط الزوال المحلي بينما في حال كان النجم يقع في الجهة الغربية منه فيلزم حينها أخذ تمام الزاوية K إلى°360 .**
- **ادخل في جدول تصحيح نجم الجدي Polaris correction بقيمة الزاوية K وبحسب السنة التي معك، واستخرج قيمة التصحيح المقابلة للزاوية K، وقم بإجراء عملية التعديل بين السطرين في حال لزم الأمر.**
- **قيمة التصحيح .Corr تكون بالدقائق القوسية وتحمل الإشارة الموجبة أو السالبة بحسب ما يقابلها من قيمة الزاوية K حيث أن الإشارة تقع بينهما.**
- **أضف قيمة التصحيح .Corr إلى الارتفاع الحقيقي لنجم الجدي للحصول على خط العرض المطلوب.**

<u>مثال</u>: قام راصد مساء يوم 28 March 2022 برصد ارتفاع كل من نجم الجدي Polaris، ونجم أنور الفرقدين Kochab فكانت نتائج الرصد على النحو التالي: -

البعد السمتي الحقيقي ZD_1 لنجم الجدي Polaris	**60° 14.1′**
البعد السمتي الحقيقي ZD_2 لنجم أنور الفرقدين Kochab	**62° 25.1′**

فإذا علمت أن البعد الزاوي بين النجمين d يعادل 16.57778°، أوجد خط عرض الراصد.

$$Cos(K) = \frac{Cos(ZD_2) - Cos(ZD_1)Cos(d)}{Sin(ZD_1)Sin(d)}$$

$$Cos(K) = \frac{Cos(62°\ 25.1') - Cos(60°\ 14.1')Cos(16.57778°)}{Sin(60°\ 14.1')Sin(16.57778°)}$$

$$Cos(K) = -0.05166$$

$$K = 92.96°$$

ندخل بقيمة الزاوية K في جدول تصحيح نجم الجدي Polaris بين قيمة K الأصغر 90° والأكبر 100°، ونقوم بعملية حساب التناسب للحصول على قيمة التصحيح عندما تكون الزاوية K تساوي 92.96°، فيكون الناتج -3.6′

$$Alt_{Polaris} = 90° - ZD_1$$

$$Alt_{Polaris} = 90° - 60°\ 14.1'$$

$$Alt_{Polaris} = 29°\ 45.9'$$

$$Lat = Alt_{Polaris} + Polaris\ correction$$

$$Lat = 29°\ 45.9' + (-\ 00°\ 03.6')$$

$$Lat = 29°\ 42.3'N$$

مثال: قام راصد مساء يوم 15 Aug. 2022 برصد ارتفاع كل من نجم الجدي Polaris، ونجم أنور الفرقدين Kochab فكانت نتائج الرصد على النحو التالي: -

البعد السمتي الحقيقي ZD_1 لنجم الجدي Polaris 48° 15.6′

البعد السمتي الحقيقي ZD_2 لنجم أنور الفرقدين Kochab 40° 47.7′

فإذا علمت أن البعد الزاوي بين النجمين d يعادل 16.57778°، وأن نجم أنور الفرقدين يقع إلى الغرب من نجم الجدي (K = 360° ∽ K)، أوجد خط عرض الراصد.

$$Cos(K) = \frac{Cos(ZD_2) - Cos(ZD_1)Cos(d)}{Sin(ZD_1)Sin(d)}$$

$$Cos(K) = \frac{Cos(40°\ 47.7') - Cos(48°\ 15.6')Cos(16.57778°)}{Sin(48°\ 15.6')Sin(16.57778°)}$$

$$Cos(K) = 0.55884$$

$$K = 56.02° \quad \backsim 360°$$

$$K = 303.98°$$

بطريقة حساب التناسب نحصل على قيمة التصحيح عندما تكون الزاوية K تساوي 303.98°، فيكون الناتج +22.7′

Lat = $Alt_{Polaris}$ + Polaris correction

Lat = (90° - ZD_1) + Polaris correction

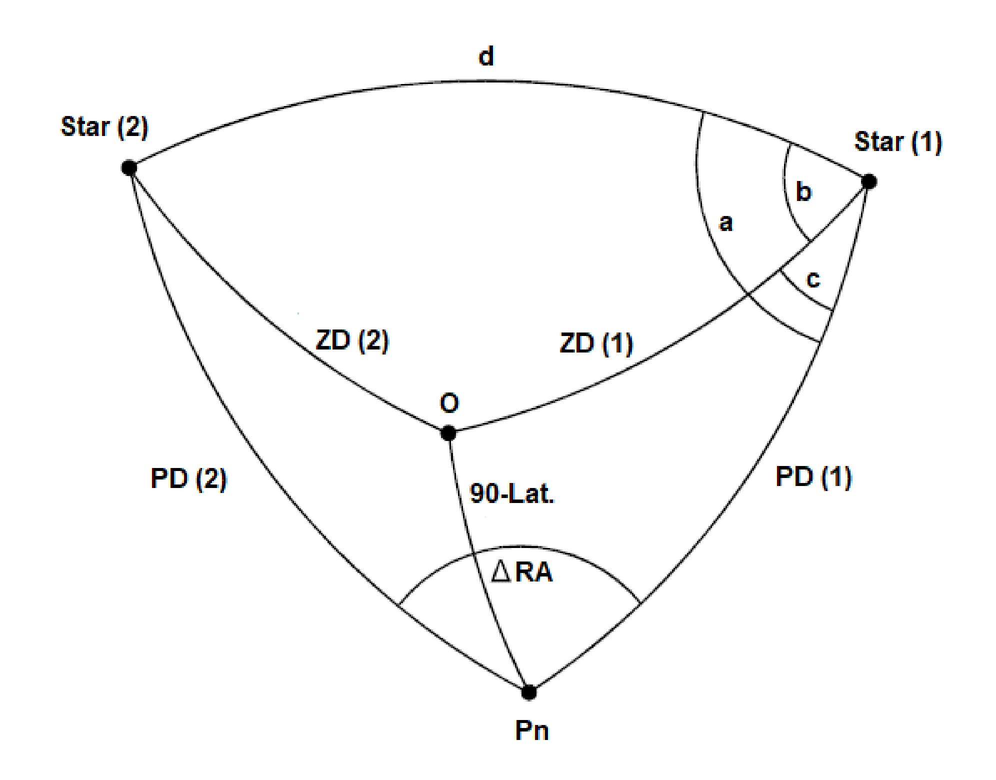
Lat = (90° - 48° 15.6′) + Polaris correction

Lat = 41° 44.4′ + 00° 22.7′

Lat = 42° 07.1′N

إيجاد العرض الجغرافي بطريقة المثلث الكروي القطبي

تعتمد هذه الطريقة على حل مجموعة من المثلثات الكروية بهدف الحصول على عرض المكان، وذلك برصد ارتفاع نجمين آنياً يتم اختيارهما بحيث يشكلان مع القطب الشمالي رؤوس المثلث الكروي، وهذا يعني بأننا سنقوم باختيار نجم يقع إلى الشرق من نقطة القطب الشمالي ونجم آخر يقع إلى الغرب منه، وهنا يمكن افتراض أن نقطة القطب الشمالي هي النجم القطبي لتسهيل تصور المثلث في صفحة السماء قبل اختيار ورصد ارتفاع النجمين.



باعتبار Pn نقطة القطب الشمالي ،وO موقع الراصد مجهول العرض الجغرافي ،و Star (1,2) موقع النجمين المتمثلين بموقعيهما الاستوائي (RA_1 , Dec_1) و (RA_2 , Dec_2) يكون لدينا ثلاثة مثلثات كروية يتم العمل عليهم:-

المثلث الكروي الأول (2) Star و Pn و (1) Star

المثلث الكروي الثاني (2) Star و O و (1) Star

المثلث الكروي الثالث O و Pn و (1) Star

الخطوات المتبعة في إيجاد عرض المكان بطريقة المثلث الكروي القطبي هي:-

- **إيجاد الزاوية عند Pn والتي تمثل فرق المطلعين .**

$\Delta\ RA = RA_2 \sim RA_1$

- **حساب البعد الزاوي d بين النجمين في المثلث الكروي الأول.**

$$Cos(d) = Sin(Dec_1)Sin(Dec_2) + Cos(Dec_1)Cos(Dec_2)Cos(\Delta RA)$$

- **في نفس المثلث الكروي نحسب الزاوية a عند النجم (1) Star .**

$$Cos(a) = \frac{Sin(Dec_2) - Sin(Dec_1)Cos(d)}{Cos(Dec_1)Sin(d)}$$

- **في المثلث الكروي الثاني نحسب الزاوية b عند النجم (1) Star .**

$$Cos(b) = \frac{Sin(Alt_2) - Sin(Alt_1)Cos(d)}{Cos(Alt_1)Sin(d)}$$

- **في المثلث الكروي الثالث نحسب الزاوية c ولها حلين إثنين c_1 و c_2**

$c_1 = a + b$

$c_2 = a - b$

- **نحسب خط العرض الجغرافي ويكون لدينا خطا عرض محتملين يتم استبعاد أحدهما.**

$$Sin(Lat_1) = Sin(Alt_1)Sin(Dec_1) + Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_1)$$

$$Sin(Lat_2) = Sin(Alt_1)Sin(Dec_1) + Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_2)$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $20^h\ 00^m\ 30^s$ GMT من يوم 2016 .2 Jan تم الحصول على الارتفاع الحقيقي لكل من النجم

$Star_1$ الكف الخضيب Caph، والنجم $Star_2$ العيوق Capella، أوجد خط عرض الراصد إذا علمت أن :-

$Star_1$	Caph	$Star_2$	Capella
Alt_1	48° 32.5′	Alt_2	58° 16.2′
RA_1	02° 30.7′	RA_2	79° 28.6′
Dec_1	59° 14.5′ N	Dec_2	46° 0.7′ N

$\Delta RA = RA_2 \sim RA_1$

$\Delta RA = 79°\ 28.6' \sim 02°\ 30.7'$

$\Delta RA = 76°\ 57.9'$

$$Cos(d) = Sin(Dec_1)Sin(Dec_2) + Cos(Dec_1)Cos(Dec_2)Cos(\Delta RA)$$

$$Cos(d) = Sin(59°\,14.5')Sin(46°\,0.7') + Cos(59°\,14.5')Cos(46°\,0.7')Cos(76°\,57.9')$$

$$Cos(d) = 0.69838412$$

$$d = 45°\ 42'\ 09''$$

$$Cos(a) = \frac{Sin(Dec_2) - Sin(Dec_1)Cos(d)}{Cos(Dec_1)Sin(d)}$$

$$Cos(a) = \frac{Sin(46°\,0.7') - Sin(59°\,14.5')Cos(45°\,42'\,09'')}{Cos(59°\,14.5')Sin(45°\,42'\,09'')}$$

$$Cos(a) = 0.3260285$$

$$a = 70°\ 58'\ 19''$$

$$Cos(b) = \frac{Sin(Alt_2) - Sin(Alt_1)Cos(d)}{Cos(Alt_1)Sin(d)}$$

$$Cos(b) = \frac{Sin(58°16.2') - Sin(48°32.5')Cos(45°42'09'')}{Cos(48°32.5')Sin(45°42'09'')}$$

$$Cos(b) = 0.6903704$$

$$b = 46°\ 20'\ 26''$$

c = a ±b

$c_1 = 117°\ 18'\ 45''$

$c_2 = 24°\ 37'\ 53''$

$$Sin(Lat) = Sin(Alt_1)Sin(Dec_1) + Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_1)$$

$$Sin(Lat) = Sin(48°32.5')Sin(59°14.5') + Cos(48°32.5')Cos(59°14.5')Cos(117°18'45'')$$

$$Sin(Lat) = 0.48865245$$

$$Lat_1 = 29°\ 15'\ 07''$$

$$Sin(Lat) = Sin(Alt_1)Sin(Dec_1) + Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_2)$$

$$Lat_2 = 72°\ 08'\ 20''$$

يتم استبعاد العرض الثاني Lat_2 البعيد ليكون عرض الراصد المطلوب هو N 29° 15′ 07″

مثال: عند وقت غرينتش GMT $23^h\ 30^m\ 12^s$ من يوم 16 Dec. 2016 تم الحصـــول على الارتفاع الحقيقي لكل من النجم $Star_1$ الدبة Dubhe، والنجم $Star_2$ العيوق Capella، أوجد خط عرض الراصد إذا علمت أن :-

$Star_1$	**Dubhe**	**$Star_2$**	**Capella**
Alt_1	**48° 31.2′**	**Alt_2**	**49° 49.3′**
RA_1	**166° 11.1′**	**RA_2**	**79° 29.5′**
Dec_1	**61° 39.3′ N**	**Dec_2**	**46° 0.7′ N**

$\Delta RA = RA_2 \sim RA_1$

$\Delta RA = 79° 29.5' \sim 166° 11.1'$

$\Delta RA = 86° 41.6'$

$$Cos(d) = Sin(Dec_1)Sin(Dec_2) + Cos(Dec_1)Cos(Dec_2)Cos(\Delta RA)$$

$$Cos(d) = Sin(61° 39.3')Sin(46° 0.7') + Cos(61° 39.3')Cos(46° 0.7')Cos(86° 41.6')$$

$$Cos(d) = 0.6522383$$

$$d = 49° 17' 22''$$

$$Cos(a) = \frac{Sin(Dec_2) - Sin(Dec_1)Cos(d)}{Cos(Dec_1)Sin(d)}$$

$$Cos(a) = \frac{Sin(46° 0.7') - Sin(61° 39.3')Cos(49° 17' 22'')}{Cos(61° 39.3')Sin(49° 17' 22'')}$$

$$Cos(a) = 0.4041334$$

$$a = 66° 09' 47''$$

$$Cos(b)=\frac{Sin(Alt_2)-Sin(Alt_1)Cos(d)}{Cos(Alt_1)Sin(d)}$$

$$Cos(b)=\frac{Sin(49^\circ 49.3')-Sin(48^\circ 31.2')Cos(49^\circ 17' 22'')}{Cos(48^\circ 31.2')Sin(49^\circ 17' 22'')}$$

$$Cos(b)=0.5485049$$

$$b=56^\circ\, 44'\, 08''$$

c = a ±b

$c_1 = 122^\circ\, 53'\, 55''$

$c_2 = 09^\circ\, 25'\, 39''$

$$Sin(Lat)=Sin(Alt_1)Sin(Dec_1)+Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_1)$$

$$Sin(Lat)=Sin(48^\circ 31.2')Sin(61^\circ 39.3')+Cos(48^\circ 31.2')Cos(61^\circ 39.3')Cos(122^\circ 53' 55'')$$

$$Sin(Lat)=0.48855498$$

$$Lat_1=29^\circ\, 14'\, 44''$$

$$Sin(Lat)=Sin(Alt_1)Sin(Dec_1)+Cos(Alt_1)Cos(Dec_1)Cos(c_2)$$

$$Lat_2=75^\circ\, 50'\, 02''$$

يتم استبعاد العرض الثاني Lat_2 البعيد ليكون عرض الراصد المطلوب هو N $29^\circ\, 14'\, 44''$

تتميز هذه الطريقة في أن الراصد لن يكون بحاجة إلى المعرفة المسبقة بقيمة خط الطول من أجل إيجاد خط العرض. حيث أن أغلب الطرق المستخدمة في إيجاد الموقع الجغرافي تتطلب معرفة قيمة أحد عناصر الموقع قبل إيجاد العنصر الاخر، لكن تبقى هنا مشكلة تتمثل في كون عملية رصد نجمين مختلفين بشكل متزامن غير قابلة عملياً للتطبيق. إذ أن الانتقال في عملية الرصد بين نجمين مختلفين كفيل بتحرك النجم الآخر عن موضعة وتغير إحداثياته نسبة إلى وقت رصد النجم الأول.

تتم معالجة هذه المشكلة من خلال اتباع أسلوب معين في الرصد بالإضافة إلى استخدام طريقة التعديل بين السطرين للحصول على مقدار ارتفاع نجمين مختلفين بشكل متزامن، وذلك على النحو التالي: -

- **ارصد ارتفاع النجم الأول وسجل وقت الرصد GMT_1.**
- **كرر رصد ارتفاع النجم الأول بعد مرور خمسة دقائق على سبيل المثال، وسجل وقت الرصد GMT_2.**
- **ارصد ارتفاع النجم الثاني وسجل وقت الرصد GMT.**
- **أعد رصد ارتفاع النجم الأول بعد مرور خمسة دقائق أخرى على وقت رصدته الثانية وسجل وقت الرصد GMT_3.**
- **لديك الآن رصدة واحدة للنجم الثاني مع وقت الرصد GMT، وثلاثة رصدات للنجم الأول بفارق زمني ثابت مقداره خمسة دقائق بين كل رصدة وأخرى $GMT_{1,2,3}$.**
- **اعتمد وقت رصد النجم الثاني GMT وزاوية ارتفاعه.**
- **استخدام طريقة التعديل بين السطرين لقياسات ارتفاع النجم الأول للحصول على مقدار ارتفاعه في وقت رصد النجم الثاني GMT.**
- **يتحصل لديك ارتفاع النجم الأول وارتفاع النجم الثاني في وقت غرينتس GMT، وهذه العناصر تمثل المعطيات المطلوبة لحل مسألة إيجاد العرض الجغرافي بطريقة المثلث الكروي القطبي.**
- **يمكن استخدام هذه الطريقة في أي مسألة أخرى تتطلب رصد ارتفاع نجمين مختلفين بشكل متزامن.**

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $20^h\ 12^m\ 36^s$ GMT قام راصد برصد ارتفاع نجم أنور الفرقدين Kochab فكان ارتفاعه الحقيقي $22°\ 02'\ 11''$ كما قام الراصد بأخذ عدة قياسات لارتفاع $Y_{Alt.}$ نجم الكف الخضيب Caph مع تسجيل وقت كل رصدة X_{GMT} بفاصل زمني ΔX مقداره $00^h\ 05^m\ 00^s$ زمنية على النحو التالي: -

Sight No.	X_{GMT}	$Y_{Alt.}$
1	$20^h\ 05^m\ 00^s$	$19°\ 01'\ 59''$
2	$20^h\ 10^m\ 00^s$	$18°\ 27'\ 45''$
3	$20^h\ 15^m\ 00^s$	$17°\ 53'\ 49''$

احسب ارتفاع نجم الكف الخضيب Caph عند وقت غرينتش $20^h\ 12^m\ 36^s$ GMT

$A = Y_2 - Y_1$	$-00°\ 34'\ 14''$
$B = Y_3 - Y_2$	$-00°\ 33'\ 56''$
$C = B - A$	$00°\ 00'\ 18''$

$n = (GMT - X_{GMT2}) \div \Delta X$

$n = (20^h\ 12^m\ 36^s - 20^h\ 10^m\ 00^s) \div 00^h\ 05^m\ 00^s$

$n = 00^h\ 31^m\ 12^s$

$Y = Y_2 + (0.5n) \times (A+B+Cn)$

$Y = 18°\ 27'\ 45'' + (0.5 \times 00^h\ 31^m\ 12^s) \times [(-00°\ 34'\ 14'') + (-00°\ 33'\ 56'') + (00°\ 00'\ 18'' \times 00^h\ 31^m\ 12^s)]$

$Y = 18°\ 27'\ 45'' + (00^h\ 15^m\ 36^s) \times [-\ 01°\ 08'\ 01'']$

$Y = 18°\ 10'\ 04''$

مثال: قام راصد بأخذ عدة قياسات لارتفاع $Y_{Alt.}$ نجم الشعرى الشامية Procyon مع تسجيل وقت كل رصدة X_{GMT} بفاصل زمني ΔX مقداره $00^h 08^m 00^s$ زمنية على النحو التالي: -

Sight No.	X_{GMT}	$Y_{Alt.}$
1	$15^h 30^m 00^s$	$29° 34' 23''$
2	$15^h 38^m 00^s$	$31° 17' 08''$
3	$15^h 46^m 00^s$	$32° 59' 12''$

احسب ارتفاع نجم الشعرى الشامية Procyon عند وقت غرينتش GMT $15^h 42^m 47^s$

$A = Y_2 - Y_1$	$01° 42' 45''$
$B = Y_3 - Y_2$	$01° 42' 04''$
$C = B - A$	$-00° 00' 40''$

$n = (GMT - X_{GMT2}) \div \Delta X$

$n = (15^h 42^m 47^s - 15^h 38^m 00^s) \div 00^h 08^m 00^s$

$n = 00^h 35^m 53^s$

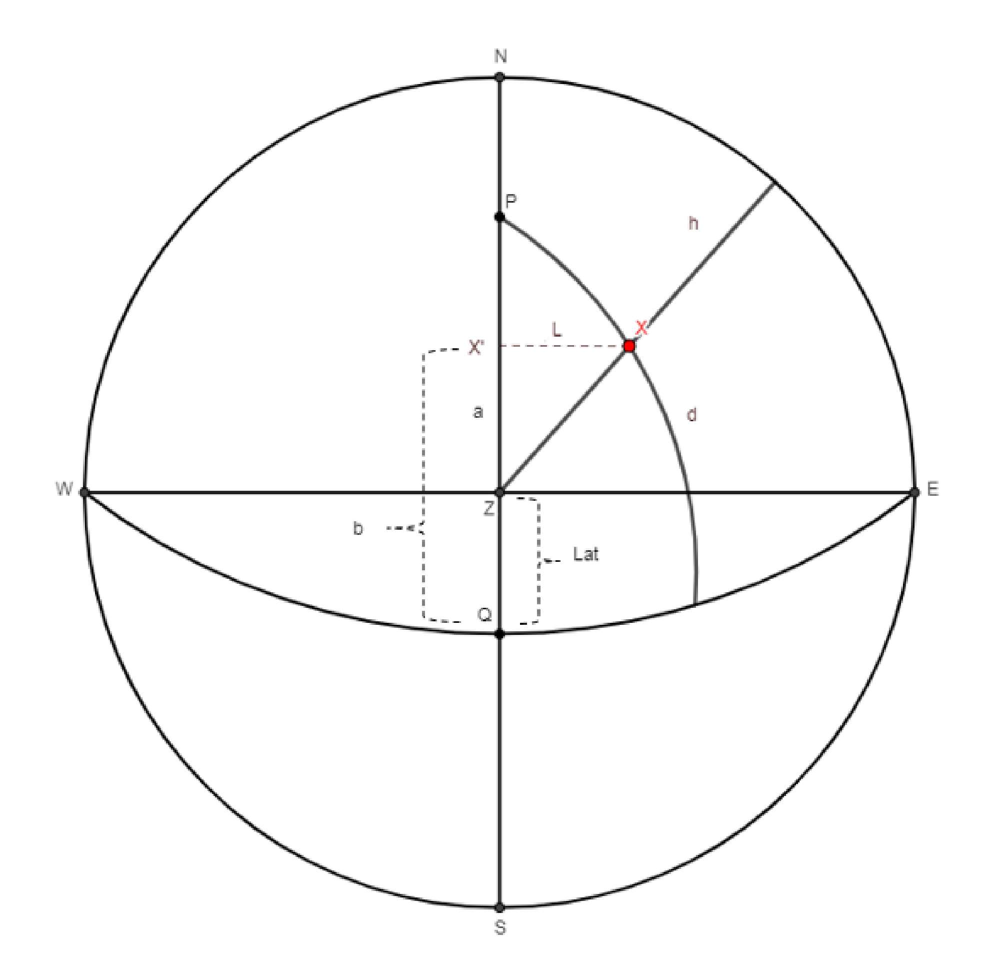
$Y = Y_2 + (0.5n) \times (A+B+Cn)$

$Y = 31° 17' 08'' + (0.5 \times 00^h 35^m 53^s) \times [(01° 42' 45'') + (01° 42' 04'') + (-00° 00' 40'' \times 00^h 35^m 53^s)]$

$Y = 31° 17' 08'' + (00^h 17^m 56^s) \times [03° 24' 25'']$

$Y = 32° 18' 14''$

إيجاد العرض الجغرافي بطريقة المثلث القائم



تتطلب هذه الطريقة رصد ارتفاع جرم سماوي قريب من خط الزوال مع المعرفة المسبقة بخط طول الراصد، وتقتصر استخدام هذه الطريقة على الظروف التي يحقق فيها الجرم السماوي الشروط التالية: -

- **أن يكون الجرم السماوي في غضون ثلاثة ساعات قبل أو بعد عبوره الزوالي بمعنى أن تكون الزاوية عند القطب P لا تزيد عن ثلاثة ساعات.**
- **لا تقل درجة ميل الجرم السماوي d عن 3° درجات.**
- **لا يزيد اتجاه الجرم السماوي عن 45° درجة، وبمعنى آخر لا يجب أن تصنع الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي مع الدائرة الرأسية الرئيسية زاوية عند سمت الرأس Z أكبر من 45°.**

الخطوات المتبعة في رصد ارتفاع الجرم السماوي من أجل إيجاد خط العرض الجغرافي بطريقة المثلث القائم هي على النحو التالي :-

- **ارصد ارتفاع الجرم السماوي h الذي يحقق الشروط المطلوبة.**
- **سجل الوقت المتوسط لغرينتش GMT لوقت الرصد.**
- **صحح الارتفاع للحصول على الارتفاع الحقيقي.**
- **اســتخرج الميل Dec والمطلع المســتقيم RA للجرم الســماوي، والزاوية النجمية المحلية LST بمعلومية وقت الرصد GMT، وخط الطول Long.**
- **احسب الزاوية الساعية عند P بمعلومية LST و RA للجرم السماوي.**
- **احسب القوس القائم على خط الزوال المحلي L.**

$$Sin(L) = Cos(Dec)Sin(P)$$

- **احسب القوس b، ويأخذ إشارة الميل.**

$$Sin(b) = Sin(Dec) \div Cos(L)$$

- **احسب القوس a، ويأخذ إشارة الشمال في حال كان إتجاه الجرم شمالي بينما يأخذ إشارة الجنوب في حال كان إتجاه الجرم جنوبي.**

$$Cos(a) = Sin(h) \div Cos(L)$$

- **اجمع القوسين a و b في حال اختلفا في الإشارة أو خذ الفرق بينهما في حال اتفقا في الإشارة لتحصل على خط العرض المطلوب.**

$$Lat = a \pm b$$

- **في حال كان الجرم السماوي قريب من خط الزوال السفلي يجب حينها حذف 180 درجة من القوس b .**

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT\ 22^h\ 10^m\ 52^s$ من يوم 26 Jan. 2022 تم رصد ارتفاع نجم الدبة Dubhe باتجاه الشمال الشرقي، وباستخدام جهاز الثيودولايت، فإذا علمت أن :-

خط طول الراصد	**048° 00′ E**
الارتفاع الحقيقي للنجم	**55° 11′ 14″**
ميل النجم	**61° 37′ 59″**
المطلع المستقيم للنجم	**166° 15′ 57″**
الزمن النجمي المحلي	**146° 53′ 45″**

أوجد خط عرض الراصد

الزمن النجمي المحلي LST	**146° 53′ 45″**	
المطلع المستقيم RA	**166° 15′ 57″**	**-**
الزاوية الساعية عند القطب P	**19° 22′ 12″**	

$$Sin(L) = Cos(Dec)Sin(P)$$

$$Sin(L) = Cos(61°\ 37'\ 59'')Sin(19°\ 22'\ 12'')$$

$$Sin(L) = 0.1575806$$

$$L = 09°\ 03'\ 59''$$

$$Sin(b) = Sin(Dec) \div Cos(L)$$

$$Sin(b) = Sin(61°\ 37'\ 59'') \div Cos(09°\ 03'\ 59'')$$

$$Sin(b) = 0.8910553$$

$$b = 63°\ 00'\ 22''\ \mathrm{N}$$

$$Cos(a) = Sin(h) \div Cos(L)$$

$$Cos(a) = Sin(55^\circ\, 11'\, 14'') \div Cos(09^\circ\, 03'\, 59'')$$

$$Cos(a) = 0.8314092$$

$$a = 33^\circ\, 45'\, 22''\ \ N$$

$$Lat = a \backsim b$$

$$Lat = 33^\circ\, 45'\, 22'' \backsim 63^\circ\, 00'\, 22''$$

$$Lat = 29^\circ\, 15'\, 00''\ \ N$$

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش GMT $19^h\, 56^m\, 38^s$ من يوم 4 Dec. 2021 تم رصد ارتفاع نجم الكف الخضيب Caph باتجاه الشمال الغربي، وباستخدام جهاز الثيودولايت، فإذا علمت أن :-

خط طول الراصد	**030° 17′ E**
الارتفاع الحقيقي للنجم	**50° 41′ 37″**
ميل النجم	**59° 16′ 13″**
المطلع المستقيم للنجم	**02° 34′ 32″**
الزمن النجمي المحلي	**43° 17′ 15″**

أوجد خط عرض الراصد

الزمن النجمي المحلي LST	**43° 17′ 15″**	
المطلع المستقيم RA	**02° 34′ 32″**	**-**
الزاوية الساعية عند القطب P	**40° 42′ 43″**	

$$Sin(L) = Cos(Dec)Sin(P)$$

$$Sin(L) = Cos(59° \, 16' \, 13'')Sin(40° \, 42' \, 43'')$$

$$Sin(L) = 0.3332958$$

$$L = 19° \, 28' \, 08''$$

$$Sin(b) = Sin(Dec) \div Cos(L)$$

$$Sin(b) = Sin(59° \, 16' \, 13'') \div Cos(19° \, 28' \, 08'')$$

$$Sin(b) = 0.911717$$

$$b = 65° \, 44' \, 37'' \text{ N}$$

$$Cos(a) = Sin(h) \div Cos(L)$$

$$Cos(a) = Sin(50° \, 41' \, 37'') \div Cos(19° \, 28' \, 08'')$$

$$Cos(a) = 0.8206947$$

$$a = 34° \, 50' \, 44'' \;\; N$$

$$Lat = a \backsim b$$

$$at = 34° \, 50' \, 44'' \backsim 65° \, 44' \, 37''$$

$$Lat = 30° \, 53' \, 53'' \;\; N$$

إيجاد الطول الجغرافي بطريقة فرق الزوايا الساعية

تقوم هذه الطريقة على أساس إيجاد الفرق بين الزاوية الساعية المحلية LHA والزاوية الساعية لغرينتش GHA لجرم سماوي معين حيث أن هذا الفرق يمثل خط طول الراصد، ويتم الحصول على الزاوية الساعية المحلية للجرم السماوي بعد رصد ارتفاعه h من خلال القانون بينما يتم استخراج قيمة الزاوية الساعية لغرينتش لنفس الجرم من الصفحات اليومية للتقويم البحري أو يمكن حسابه كذلك في حال معرفة القيمة الصحيحة لمعادلة الوقت إذا كان الجرم السماوي المرصود هو الشمس.

الخطوات المتبعة في رصد ارتفاع الجرم السماوي من أجل إيجاد خط طول المكان بطريقة الفرق بين الزوايا الساعية هي على النحو التالي: -

- **ارصد ارتفاع الجرم السماوي h.**
- **سجل الوقت المتوسط لغرينتش GMT لوقت الرصد.**
- **صحح الارتفاع للحصول على الارتفاع الحقيقي.**
- **استخرج ميل Dec الجرم السماوي ومطلعه المستقيم RA بمعلومية وقت الرصد.**
- **في حال الشمس استخرج معادلة الوقت Eq.T بدلا عن المطلع المستقيم.**
- **احسب الزاوية الساعية لغرينتش GHA للجرم السماوي.**
- **احسب الزاوية الساعية المحلية LHA من القانون بدلالة الارتفاع الحقيقي وميل الجرم وعرض الراصد.**
- **خذ الفرق بين الزوايا الساعية للحصول على خط طول الراصد Long.**
- **حدد إشارة خط الطول Long بحسب قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA والزاوية الساعية لغرينتش GHA.**
- **عند استخدام هذه الطريقة اختر الاجرام السماوية القريبة من الدائرة الرأسية الأولى Prime Vertical. بمعنى تلك الاجرام التي يكون اتجاهها 90°/270° أو قريبة من ذلك.**

مثال: عند وقت غرينتش $GMT\ 07^h\ 15^m\ 21^s$ من يوم 12 Oct 2017 قام راصد على خط عرض $29°\ 15'\ N$ برصد ارتفاع الشمس قبل الزوال باستخدام الثيودولايت.

فإذا علمت أن: -

الارتفاع الظاهري للشمس	**$48°\ 36'\ 21''$**
ميل الشمس	**$07°\ 30.1'\ S$**
معادلة الوقت (من التقويم البحري)	**$+\ 13^m\ 31^s$**

أوجد خط طول الراصد.

$48°\ 37'\ 15''$	**الارتفاع الظاهري للشمس**
$0.9'$	**- تصحيح الانكسار**
$48°\ 36'\ 21''$	**الارتفاع الحقيقي للشمس**

GMT $07^h\ 15^m\ 21^s$

Eq.T + $00^h\ 13^m\ 31^s$

GAT $07^h\ 28^m\ 52^s$

± 12

GHA $19^h\ 28^m\ 52^s$ $\times 15°$

GHA $292°\ 13'\ 00''$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(48^\circ\, 36'\, 21'') - Sin(29^\circ\, 15')Sin(-07^\circ\, 30.1')}{Cos(29^\circ\, 15')Cos(-07^\circ\, 30.1')}$$

$$Cos(LHA) = 0.94097533$$

$LHA = 19^\circ\, 47'\, 02''$ **~ 360°**

$$LHA = 340^\circ\, 12'\, 58''$$

GHA	**292° 13′ 00″**
LHA ~	**340° 12′ 58″**

Long E	**047° 59′ 58″**

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT\ 18^h\ 15^m\ 20^s$ من يوم 07 April 2021 قام راصد على خط عرض $29°\ 15'\ N$ برصد ارتفاع نجم السماك الرامح Arcturus جهة الشرق.

فإذا علمت أن: -

الارتفاع الحقيقي للنجم	**$38°\ 18.1'$**
ميل النجم	**$19°\ 4.4'\ N$**
المطلع المستقيم للنجم	**$214°\ 09'$**

أوجد خط طول الراصد.

$$GST = GST_{2021} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 39^m\ 31^s + 0.0657098244 * 97 + 1.00273791 * 18^h\ 15^m\ 20^s$$

$$GST = 07^h\ 20^m\ 17^s \qquad \times 15°$$

$$GST = 110°\ 04'\ 15''$$

الزمن النجمي لغرينيتش GST	$110°\ 04'\ 15''$
- المطلع المستقيم RA	$214°\ 09'\ 00''$
الزاوية الساعية لغرينيتش GHA	$255°\ 55'\ 15''$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(38°\ 18.1') - Sin(29°\ 15')Sin(19°\ 4.4')}{Cos(29°\ 15')Cos(19°\ 4.4')}$$

$$Cos(LHA) = 0.55800735$$

$$LHA = 56° 04' 55''$$ ~ **360°**

$$LHA = 303° 55' 05''$$

GHA	**255° 55′ 15″**
LHA ~	**303° 55′ 05″**

--

Long E	**047° 59′ 50″**

إيجاد الطول الجغرافي بطريقة فرق الزوايا النجمية

تقوم هذه الطريقة على أســاس إيجاد الفرق بين الزاوية النجمية المحلية LST والزاوية النجمية لغرينتش GST حيث أن هذا الفرق يمثل خط طول الراصــد، ويتم الحصــول على الزاوية النجمية المحلية بمعلومية المطلع المســتقيم RA للجرم الســماوي ويفضــل أن يكون نجماً، وزاويته الســاعية المحلية LHA التي تحســب من خلال القانون بينما يتم اســتخراج قيمة الزاوية النجمية لغرينتش من الصــفحات اليومية للتقويم البحري أو يمكن حســابه لوقت الرصــد بتوقيت غرينيتش GMT.

الخطوات المتبعة في رصد ارتفاع الجرم السماوي من أجل إيجاد خط طول المكان بطريقة الفرق بين الزوايا النجمية هي على النحو التالي: -

- **ارصد ارتفاع الجرم السماوي h.**
- **سجل الوقت المتوسط لغرينتش GMT لوقت الرصد.**
- **صحح الارتفاع للحصول على الارتفاع الحقيقي.**
- **احسب الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي من القانون.**
- **اســتخرج الميل Dec والمطلع المســتقيم RA للجرم الســماوي، والزاوية النجمية لغرينتش GST بمعلومية وقت الرصد GMT.**
- **احسب الزاوية النجمية المحلية LST بمعلومية LHA و RA للجرم السماوي.**
- **اجمعهما أو خذ الفرق بين الزاوية النجمية المحلية LST والزاوية النجمية لغرينتش GST بحســب الإشــارات للحصول على خط طول الراصد.**
- **عند اســتخدام هذه الطريقة اختر الاجرام الســماوية القريبة من الدائرة الرأســية الأولى Prime Vertical. بمعنى تلك الاجرام التي يكون اتجاهها °270/°90 أو قريبة من ذلك.**

مثال: عند وقت غرينتش $GMT\ 19^h\ 00^m\ 21^s$ من يوم 1 Jan. 2016 قام راصـد على خط عرض $29°\ 15'\ N$ برصـد ارتفاع نجم الشعرى اليمانية Sirius قبل الزوال باستخدام الثيودولايت.

أوجد خط طول الراصد إذا علمت أن :-

الارتفاع الظاهري للنجم	**$36°\ 54'\ 57''$**
ميل النجم	**$16°\ 44.5'\ S$**
المطلع المستقيم للنجم	**$101°\ 27'\ 45''$**
الزاوية النجمية لغرينتش	**$25°\ 57'\ 30''$**

الارتفاع الظاهري للنجم	**$36°\ 54'\ 57''$**
- تصحيح الانكسار	**$1.3'$**
الارتفاع الحقيقي للنجم	**$36°\ 53'\ 39''$**

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(36°\ 53'\ 39'') - Sin(29°\ 15')Sin(-16°\ 44.5')}{Cos(29°\ 15')Cos(-16°\ 44.5')}$$

$$Cos(LHA) = 0.8869867$$

$$LHA = 27°\ 30'\ 11'' \qquad \sim \mathbf{360°}$$

$$LHA = 332°\ 29'\ 49''$$

LHA	332° 29′ 49″
RA +	101° 27′ 45″

LST	073° 57′ 34″

LST	073° 57′ 34″
GST ~	025° 57′ 30″

Long E	048° 00′ 04″

مثال: عند وقت غرينتش $GMT\ 19^h\ 32^m\ 36^s$ من يوم 24 Nov. 2021 قام راصد على خط عرض 36° 12′ N برصد ارتفاع نجم الدبران Aldebaran جهة الشرق.

أوجد خط طول الراصد إذا علمت أن :-

الارتفاع الحقيقي للنجم	31° 13′ 51″
ميل النجم	16° 33.1′ N
المطلع المستقيم للنجم	69° 17′ 25″
الزاوية النجمية لغرينتش	357° 07′ 30″

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(31°13'51'') - Sin(36°12')Sin(16°33.1')}{Cos(36°12')Cos(16°33.1')}$$

$$Cos(LHA) = 0.4527801$$

$LHA = 63° 04' 40''$ **~ 360°**

$$LHA = 296° 55' 20''$$

LHA	**296° 55′ 20″**
RA +	**069° 17′ 25″**
--	
LST	**006° 12′ 45″**

LST	**006° 12′ 45″**	
GST ~	**357° 07′ 30″**	
--		
Long W	**350° 54′ 45″**	**~360°**
Long E	**009° 05′ 15″**	

إيجاد الطول الجغرافي بطريقة عبور الدائرة الرأسية الأولى

إذا كانت قيمة ميل الجرم السماوي أصغر من خط عرض الراصد وبنفس الإشارة فإنه يقطع أثناء حركته الدائرة الرأسية الأولى Prime Vertical عند جهة الشرق مره ليكون باتجاه الشرق تماماً °90، وعند جهة الغرب مره أخرى ليكون باتجاه الغرب تماماً °270، وفي كلا الموضعين يتشكل مثلث كروي قائم الزاوية عند الزاوية السمتيه AZ.

خطوات إيجاد خط الطول بواسطة الدائرة الرأسية الأولى

- **استخدم ميل الجرم السماوي وخط العرض لحساب ارتفاع الجرم عندما يكون على الدائرة الرأسية الأولى.**

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

- **أضف التصحيحات اللازمة على الارتفاع بشكل معاكس للحصول على الارتفاع السدسي في حال استخدام آلة السدس، والارتفاع الظاهري في حال استخدام آلة الثيودولايت.**
- **إضبط آلة القياس المستخدمة على قيمة الارتفاع ثم ترقب بلوغ الجرم السماوي هذا الارتفاع بآلة القياس.**
- **سجل وقت بلوغ الجرم السماوي للارتفاع المقاس بالآلة بتوقيت غرينيتش GMT.**
- **بدلالة وقت غرينيتش GMT احسب الزمن النجمي لغرينتش GST، وبمعلومية المطلع المستقيم للجرم السماوي RA احسب الزاوية الساعية لغرينتش GHA للجرم.**

GHA = GST – RA

- **استخدم ميل الجرم السماوي وقيمة الارتفاع المحسوب من المعادلة لإيجاد الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي.**

$$Cos(LHA) = \frac{Tan(Dec)}{Tan(Lat)}$$

- **استخرج خط طول الراصد Long بدلالة الزاوية الساعية لغرينيتش والزاوية الساعية المحلية.**

Long = GHA ~ LHA

مثال: في يوم 16 Sep. 2019 قام راصد على خط عرض N ′21° 25.4 باستخدام نجم منكب الجوزاء Betelgeuse في تحديد خط الطول لحظة عبوره الدائرة الرأسية الأولى عند جهة الشرق بواسطة آلة الثيودولايت.

اشرح طريقة الحساب إذا علمت أن: -

ميل النجم	**07° 24′ 33″ N**
المطلع المستقيم للنجم	**89° 03′ 30″**

$$Sin(h) = \frac{Sin(Dec)}{Sin(Lat)}$$

$$Sin(h) = \frac{Sin(07°\ 24'\ 33'')}{Sin(21°\ 25.4')}$$

$$Sin(h) = 0.3530517746$$

$$h = 20°\ 40'\ 27''$$

الارتفاع الحقيقي	$20° 40' 27''$
+ تصحيح الانكسار	$2.5'$
- اختلاف المنظر	$0.0'$
الارتفاع الظاهري	$20° 42' 57''$

نقوم بضبط آلة الثيودولايت على الارتفاع $20° 42' 57''$ ونترقب بلوغ نجم منكب الجوزاء هذا الارتفاع، وقد حدث ذلك عند الوقت المدني الموحد 55^{s} 55^{m} $ZT\ 01^{h}$ يوم .16 Sep، ما يعادل 55^{s} 55^{m} $GMT\ 22^{h}$ يوم .15 Sep، بمعنى أن النجم قد أصبح على الدائرة الرأسية الأولى وباتجاه °90 تماماً عند هذا الوقت تحديداً.

$$GST^{h} = GST_{2019} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST^{h} = 06^{h}\ 37^{m}\ 29^{s} + 0.0657098244 * 258 + 1.00273791 * 22^{h}\ 55^{m}\ 55^{s}$$

$$GST^{h} = 22^{h}\ 34^{m}\ 21^{s} \qquad \times 15°$$

$$GST^{h} = 338°\ 35'\ 15''$$

$$GHA = GST - RA$$

$$GHA = 338°\ 35'\ 15'' - 89°\ 03'\ 30''$$

$$GHA = 249°\ 31'\ 45''$$

$$Cos(LHA) = \frac{Tan(Dec)}{Tan(Lat)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Tan(07^\circ\ 24'\ 33'')}{Tan(21^\circ\ 25.4')}$$

$$Cos(LHA) = 0.3314256434$$

$$LHA = 70^\circ\ 38'\ 41'' \qquad \sim 360^\circ$$

$$LHA = 289^\circ\ 21' 19''$$

Long = GHA ~ LHA

Long = 249° 31′ 45″ ~ 289° 21′ 19″

Long = 39° 49′ 34″ E

إيجاد الطول الجغرافي بطريقة ارتفاعين متساويين لجرم سماوي

تقوم هذه الطريقة على أساس رصد ارتفاع جرم سماوي معين عند وقت GMT_1 محدد قبل عبوره الزوالي والعودة لرصده مره أخرى GMT_2 بعد عبوره الزوالي حينما يعود إلى نفس الارتفاع الأول، وبذلك تكون زاويته الساعية المحلية LHA مساوية لنصف الفرق بين وقتي الرصد بشرط ألا يغير الجرم السماوي من درجة ميله ومطلعه المستقيم، وهذا يكون للنجوم فهي الأفضل لاستخدامها في هذه الطريقة.

بعد الحصول على الزاوية الساعية المحلية LHA وبمعلومية قيمة المطلع المستقيم RA للجرم السماوي يمكن إيجاد الوقت النجمي المحلي LST عند وقت الرصدة الثانية، ثم يتم حساب قيمة الوقت النجمي لغرينتش GST عند وقت الرصدة الثانية كذلك، ومعرفة طول .Long المكان بأخذ الفرق بينهما.

الخطوات المتبعة في رصد ارتفاعين متساويين لنجم محدد من أجل إيجاد خط طول المكان هي على النحو التالي:-

- **ارصد ارتفاع h للنجم عند وقت غرينتش GMT_1 قبل عبوره خط الزوال.**
- **ارصد نفس النجم عندما يعبر خط الزوال ويعود ليبلغ نفس الارتفاع h عند غرينتش GMT_2.**
- **خذ الفرق بين وقت الرصدتين ثم اقسم الحاصل على 2 لتحصل على الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم ثم اضربه في القيمة 1.00273791 لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط.**
- **استخرج قيمة المطلع المستقيم RA للنجم واجمعه مع الزاوية الساعية المحلية LHA لتحصل على قيمة الوقت النجمي المحلي LST عند وقت الرصدة الثانية GMT_2 .**
- **احسب الوقت النجمي لغرينتش GST عند وقت الرصدة الثانية GMT_2 .**
- **خذ الفرق بين الوقت النجمي المحلي LST والوقت النجمي لغرينتش GST للحصول على خط طول الراصد.**

<u>مثال</u>: عند وقت غرينتش $GMT_1\ 18^h\ 00^m\ 00^s$ من يوم 9 Jan. 2015 قام راصد برصد ارتفاع نجم الشعرى اليمانية Sirius فكان ارتفاعه الحقيقي $33°\ 13'\ 09''$ ثم و عند وقت غرينتش $GMT_2\ 22^h\ 35^m\ 14^s$ من نفس اليوم قام برصد نفس النجم عندما عبر خط الزوال وعاد إلى نفس الارتفاع الحقيقي الأول .

أوجد خط طول الراصد إذا علمت أن :-

المطلع المستقيم للنجم $101°\ 27'\ 36''$

الوقت النجمي لغرينتش عند GMT_2 $87°\ 57'\ 06''$

$$LHA = [(GMT_2 \sim GMT_1) \div 2\ ] \times 1.00273791$$

$$LHA = [(22^h\ 35^m\ 14^s \sim 18^h\ 00^m\ 00^s) \div 2\ ] \times 1.00273791$$

$$LHA = 02^h\ 17^m\ 59^s \qquad\qquad (\times 15°)$$

$$LHA = 34°\ 29'\ 45''$$

$$LST = LHA + RA$$

$$LST = 34°\ 29'\ 45'' + 101°\ 27'\ 36''$$

$$LST = 135°\ 57'\ 30''$$

$$Long. = LST \sim GST$$

$$Long. = 135°\ 57'\ 21'' \sim 87°\ 57'\ 06''$$

$$Long. = 48°\ 00'\ 15''\ E$$

مثال: عند وقت غرينتش $GMT_1\ 15^h\ 59^m\ 43^s$ من يوم 24 May. 2020 قام راصــد برصــد ارتفاع النجم الســماك الأعزل Spica فكان ارتفاعه $39°\ 41.3'$ ثم و عند وقت غرينتش $GMT_2\ 20^h\ 06^m\ 25^s$ من نفس اليوم قام برصد النجم مره أخرى عندما عبر خط الزوال وعاد إلى نفس الارتفاع الأول .

أوجد خط طول الراصد إذا علمت أن: -

المطلع المستقيم للنجم	**$201°\ 33'\ 46''$**
الوقت النجمي لغرينتش عند GMT_2	**$184°\ 29'\ 00''$**

$$LHA = [(GMT_2 \sim GMT_1) \div 2\,] \times 1.00273791$$

$$LHA = [(20^h\ 06^m\ 25^s \sim 15^h\ 59^m\ 43^s) \div 2\,] \times 1.00273791$$

$$LHA = 02^h\ 03^m\ 41^s \qquad (\times 15°)$$

$$LHA = 30°\ 55'\ 15''$$

$$LST = LHA + RA$$

$$LST = 30°\ 55'\ 15'' + 201°\ 33'\ 46''$$

$$LST = 232°\ 29'\ 01''$$

$$Long. = LST \sim GST$$

$$Long. = 232°\ 29'\ 01'' \sim 184°\ 29'\ 00''$$

$$Long. = 48°\ 00'\ 01''\ E$$

إيجاد الطول الجغرافي بطريقة لحظة العبور الزوالي المحلي

تعتمد هذه الطريقة على تحديد وقت العبور الزوالي المحلي لجرم سماوي حيث تنعدم قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA لهذا الجرم عند لحظة عبوره. ثم مقارنتها مع الزاوية الساعية لغرينتش GHA لنفس الجرم السماوي بعد حسابها بدلالة كل من المطلع المستقيم RA والزمن النجمي لغرينتش GST المحسوب عند وقت العبور الزوالي.

الخطوات المتبعة في تعيين لحظة العبور الزوالي للجرم من أجل إيجاد خط طول المكان هي على النحو التالي: -

- **حدد وقت العبور الزوالي المحلي للجرم السماوي بتوقيت غرينتش GMT.**
- **احسب الزمن النجمي لغرينتش GST عند وقت الرصد GMT.**
- **استخرج المطلع المستقيم RA للجرم السماوي عند وقت الرصد GMT.**
- **احسب الزاوية الساعية لغرينتش GHA للجرم السماوي بطرح المطلع المستقيم من الزمن النجمي لغرينتش.**
- **طبق العلاقة التالية للحصول على خط طول الراصد: -**

$$Long = -GHA \qquad IF\ GHA < 180°$$

$$Long = 360° - GHA \qquad IF\ GHA > 180°$$

- **تذكر، إذا كانت ساعة الرصد الخاص بك غير دقيقة لأقرب ثانية زمنية، فسينحرف خط الطول المحسوب إلى حد كبير نظرًا لأنك في الأساس تقارن التوقيت الزوالي المحلي بالتوقيت الزوالي في غرينتش.**

<u>مثال</u>: قام راصــد بمدينة بغداد برصــد لحظة العبور الزوالي المحلي لنجم المليك Regulus فكان عبوره عند وقت غرينتش GMT $17^h\ 59^m\ 04^s$ من يوم 09 April 2021.

فإذا علمت أن المطلع المستقيم للنجم RA $10^h\ 09^m\ 29^s$ أوجد خط طول الراصد.

$GST = GST_{2021} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$

$GST = 06^h\ 39^m\ 31^s + 0.0657098244 * 99 + 1.00273791 * 17^h\ 59^m\ 04^s$

$GST = 07^h\ 11^m\ 51^s$

GST	$07^h\ 11^m\ 51^s$	
RA -	$10^h\ 09^m\ 29^s$	

GHA	$21^h\ 02^m\ 22^s$	× 15°
GHA	315 ° 35 ' 30 "	> 180°

Long = 360° - GHA

Long = 44° 24′ 30″ E

<u>مثال</u>: قام راصـد غرب مدينة الاسـكندرية برصـد لحظة العبور الزوالي المحلي لنجم المنطقة Mintaka فكان عبوره عند وقت غرينتش $GMT\ 18^h\ 21^m\ 08^s$ من يوم 09 Feb 2021.

فإذا علمت أن المطلع المستقيم للنجم $RA\ 05^h\ 33^m\ 04^s$ أوجد خط طول الراصد.

$$GST = GST_{2021} + 0.0657098244 * d + 1.00273791 * GMT$$

$$GST = 06^h\ 39^m\ 31^s + 0.0657098244 * 40 + 1.00273791 * 18^h\ 21^m\ 08^s$$

$$GST = 03^h\ 41^m\ 22^s$$

GST	$03^h\ 41^m\ 22^s$	
RA -	$05^h\ 33^m\ 04^s$	

GHA	$22^h\ 08^m\ 18^s$	× 15°
GHA	332 ° 04 ' 30 "	> 180°

Long = 360° - GHA

Long = 27° 55′ 30″ E

إيجاد الوقت بدلالة الموقع الجغرافي

الوقت وخط الطول مترابطين، ومن المستحيل العثور على خط الطول بدون معرفة الوقت المحدد والعكس صحيح. تقوم طريقتنا هذه على أساس إيجاد الفرق بين الزمن النجمي لغرينتش GST لوقت الرصد والزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم GST_{00} للحصول على وقت الرصد المطلوب بتوقيت غرينتش GMT، ويتم ذلك برصد ارتفاع الجرم السماوي h والحصول على الزاوية الساعية المحلية للجرم السماوي LHA بواسطة المعادلة وبمعلومية درجة ميل الجرم السماوي Dec وخط العرض الجغرافي Lat للراصد، ومن ثم إيجاد الزمن النجمي المحلي LST بمعلومية الزاوية الساعية المحلية والمطلع المستقيم للجرم السماوي RA. بعد إيجاد الزمن النجمي المحلي LST نضيف قيمة الطول الجغرافي Long للراصد للحصول على الزمن النجمي لغرينتش GST الذي نطرحه من الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم GST_{00} بعد استخراجه بالطرق المعلومة للحصول على وقت الرصد المطلوب بتوقيت غرينتش GMT.

الخطوات المتبعة في رصد ارتفاع الجرم السماوي من أجل إيجاد الوقت بدلالة الموقع الجغرافي هي على النحو التالي:-

- ارصد ارتفاع الجرم السماوي h.
- صحح الارتفاع للحصول على الارتفاع الحقيقي h .
- استخرج ميل Dec الجرم السماوي، ومطلعة المستقيم RA.
- احسب الزاوية الساعية المحلية LHA للجرم السماوي بدلالة ارتفاع وميل الجرم وعرض الراصد.
- احسب الزمن النجمي المحلي LST بدلالة الزاوية الساعية المحلية والمطلع المستقيم.
- احسب الزمن النجمي لغرينتش GST بدلالة الزمن النجمي المحلي وطول الراصد.
- استخرج الزمن النجمي لغرينيتش لبداية يوم الرصد $GST_{GMT0000}$.
- اطرح الزمن النجمي لغرينتش من الزمن النجمي لغرينتش لبداية اليوم GST_{00} للحصول على وقت الرصد المطلوب بتوقيت غرينيتش GMT.
- يفضل استخدام النجوم لتطبيق هذه الطريقة بسبب ثبات قيمة درجة ميل النجوم ومطالعها المستقيمة، وفي هذه الحالة يجب قسمة وقت الرصد المستخرج على القيمة 1.00273791 لاعتبار الفرق بين الزمن النجمي والزمن الشمسي المتوسط.

مثال: في يوم 12 July 2016 قام راصد $29° 15' N \& 48° 00' E$ برصد ارتفاع نجم النسر الطائر Altair عند الأفق الشرقي فكان ارتفاعه الحقيقي h يعادل $43° 15' 33''$ احسب وقت الرصد بالتوقيت المدني الموحد ZT إذا علمت أن:-

المطلع المستقيم للنجم RA	**$19^h\ 51^m\ 36^s$**
ميل النجم Dec	**$08°\ 54.9'$**
الزمن النجمي لغرينيتش لبداية اليوم GST_{00}	**$19^h\ 21^m\ 17^s$**

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(43°15'33'') - Sin(29°15')Sin(08°54.9')}{Cos(29°15')Cos(08°54.9')}$$

$$Cos(LHA) = 0.70720383$$

$$LHA = 44°59'31'' \qquad \sim 360°$$

$$LHA = 315°00'28'' \qquad \div 15°$$

$$LHA = 21^h\ 00^m\ 02^s$$

LHA 21 ^{h} 00 ^{m} 02 ^{s}

RA + 19 ^{h} 51 ^{m} 36 ^{s}

LST 16 ^{h} 51 ^{m} 38 ^{s}

Long $_{E-}$ 03 ^{h} 12 ^{m} 00 ^{s}

GST 13 ^{h} 39 ^{m} 38 ^{s}

GST 13 ^{h} 39 ^{m} 38 ^{s}

GST_{00} - 19 ^{h} 21 ^{m} 17 ^{s}

----

18 ^{h} 18 ^{m} 21 ^{s} ÷1.00273791

GMT 18 ^{h} 15 ^{m} 21 ^{s} 12 July

GMT 18 ^{h} 15 ^{m} 21 ^{s} 12 July

ZN_E + 03 ^{h}

ZT 21 ^{h} 15 ^{m} 21 ^{s} 12 July

<u>مثال</u>: في يوم 04 Feb. 2015 قام راصد 29° 16′ 49″ N & 48° 01′ 16″ E برصد ارتفاع نجم رأس التوأم المؤخر Pollux عند الأفق الغربي فكان ارتفاعه الحقيقي h يعادل 34° 05′ 30″ احسب وقت الرصد GMT إذا علمت أن:-

المطلع المستقيم للنجم RA	**07 ^h^ 46 ^m^ 16 ^s^**
ميل النجم Dec	**27° 59.1′**
الزمن النجمي لغرينيتش لبداية اليوم GST_{00}	**08 ^h^ 55 ^m^ 22 ^s^**

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(h) - Sin(Lat)Sin(Dec)}{Cos(Lat)Cos(Dec)}$$

$$Cos(LHA) = \frac{Sin(34°\,05'\,30'') - Sin(29°\,16'\,49'')Sin(27°\,59.1')}{Cos(29°\,16'\,49'')Cos(27°\,59.1')}$$

$$Cos(LHA) = 0.42975989$$

$$LHA = 64°\,32'\,52'' \qquad \div 15°$$

$$LHA = 04^h\,18^m\,11^s$$

LHA		**$04^h\ 18^m\ 11^s$**
RA	**+**	**$07^h\ 46^m\ 16^s$**
LST		**$12^h\ 04^m\ 27^s$**

LST **$12^h\ 04^m\ 27^s$**

Long E- **$03^h\ 12^m\ 05^s$**

--

GST **$08^h\ 52^m\ 22^s$**

GST **$08^h\ 52^m\ 22^s$**

GST_{00} - **$08^h\ 55^m\ 22^s$**

--

$23^h\ 57^m\ 00^s$ **÷1.00273791**

GMT **$23^h\ 53^m\ 04^s$** **04 Feb.**

الموقع الجغرافي للجرم السماوي

عندما نريد أن نصف موقعاً معيناً على سطح الكرة الأرضية فإننا نستخدم الإحداثيات الجغرافية لهذا الموقع، والمتمثلة في دائرة العرض Lat، وخط الطول .Long.

وعندما نأتي لوصف موقع جرم سماوي معين على سطح الكرة السماوية فإننا نستخدم فيما نستخدم الإحداثيات الاستوائية السماوية، والمتمثلة في موازي الميل Dec، والزاوية الساعية لغرينتش GHA.

أما الميل Dec فهو عبارة عن دائرة صغرى على سطح الكرة السماوية موازية لخط الاستواء السماوي وبالتالي فهي تصنع زاوية قائمة مع محور الدوران، كما وتمثل المسارات اليومية الظاهرية للأجرام السماوية. وتعتبر موازيات الميل إسقاط لخطوط العرض الجغرافية على الكرة السماوية، وهي تقاس من °0 -°90 شمال أو جنوب خط الاستواء السماوي.

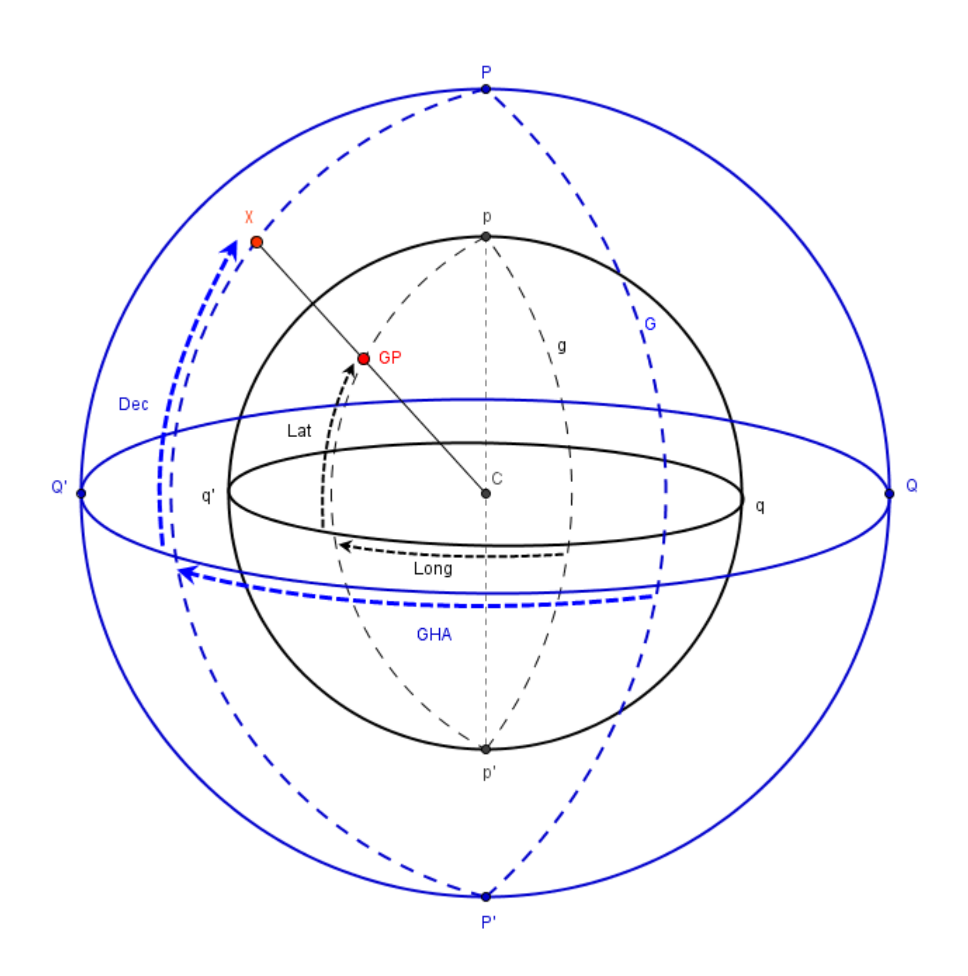
وأما الزاوية الساعية لغرينتش GHA فهي طول القوس المقاس على خط الاستواء السماوي أو الزاوية عند القطب ابتداء من خط الزوال العلوي لغرينتش وحتى خط الزوال المار بالجرم السماوي، وتعتبر إسقاط لخطوط الطول الجغرافية على الكرة السماوية، وهي تقاس من °0 -°360 باتجاه الغرب.

بالنظر فيما سبق، وبمقارنة سريعة بين مفهوم كلا من عناصر الإحداثيات الجغرافية على سطح الكرة الأرضية، وعناصر الإحداثيات الاستوائية السماوية على سطح الكرة السماوية نجد أن: -

- دائرة الميل Dec على سطح الكرة السماوية تمثل دائرة العرض Lat على سطح الكرة الأرضية.
- الزاوية الساعية لغرينتش GHA على سطح الكرة السماوية تمثل خط الطول Long على سطح الكرة الأرضية.

بالتالي يكون من الممكن أن يحل أحدهما محل الآخر بمعنى أننا لو أردنا أن نقوم بعمل إسقاط لجرم سماوي معين على سطح الكرة الأرضية فإنه من الممكن أن نحدد ونصف موقع هذا الجرم باستخدام عناصر الإحداثيات الجغرافية [Lat , Long]، وهذا ما يسمى بالموقع الجغرافي للجرم السماوي (Geographical Position GP) .

من خلال الشكل أدناه يمكن ملاحظة الخط الممتد من مركز الجرم السماوي على سطح الكرة السماوية X ومركز الكرة الأرضية C والذي يقطع سطح الكرة الأرضية عند النقطة GP حيث الموقع الجغرافي للجرم السماوي X، وعند هذه اللحظة تحديداً التي لو تصادف عندها وجود راصد متمركز في نفس الموقع الجغرافي للجرم السماوي X، فإن هذا الجرم سيكون حينها فوق رأسه مباشرة أي عند سمت الرأس Z تماماً .



ولا يتحقق ذلك، وأعني هنا أن يكون الجرم السماوي عند سمت رأسك Z تماماً، إلا إذا تحقق الشرطين التاليين: -

- **عرض الراصد Lat يساوي ميل الجرم السماوي Dec وبنفس الإشارة.**
- **طول الراصد Long يساوي الزاوية الساعية لغرينتش للجرم السماوي GHA وبنفس الإشارة.**

فعند هذه اللحظة تحديداً التي يتحقق فيها الشرطين معاً، فإن أي شخص آخر على سطح الكرة الأرضية بمقدوره مشاهدة واستقبال هذا الجرم السماوي سيكون حينها متجهاً باتجاهك تماماً.

وكما هو معلوم بأن جميع الاجرام السماوية تغير مواقعها السماوية بشكل مستمر بالنسبة للراصد نتيجة لحركتها اليومية الظاهرية، وبالتالي فإن مواقعها الجغرافية GP تتحرك هي الاخرى على سطح الكرة الأرضية سريعاً من موضع إلى آخر ولا تكون أبداً ثابتة في موقع واحد.

إن المشكلة في تحقيق الشرطين معاً لا تكمن حقيقةً في شرط تساوي طول الراصد مع الزاوية الساعية لغرينتش للجرم السماوي ،إذ أن جميع الاجرام السماوية في حركة دورانية مستمرة تتحرك خلالها على موازيات الميل فيما يسمى بالحركة الظاهرية اليومية ،وبذلك هي تقطع جميع الزوايا الساعية (خطوط الزوال) خلال حركتها اليومية بما في ذلك خط زوال الراصد، لكن المشكلة أو الصعوبة تكمن في تحقق الشرط الآخر وهو تساوي عرض الراصد مع ميل الجرم السماوي حيث أن الاجرام السماوية لا تتحرك خلال حركتها الظاهرة اليومية على موازي ميل واحد إنما تتنقل من موازي ميل إلى آخر حيث تغير من درجة ميولها وبسرعات متفاوتة بحسب معدل حركة هذا الجرم، ويمكن استثناء النجوم من ذلك فقط لكون ثبات قيمة ميولها لفترات طويلة نسبياً، وعلى العكس من ذلك يأتي القمر الذي يعتبر معدل تغير ميله سريع جداً، وتأتي بينهما كلا من الشمس والكواكب بنسب متفاوتة .

مثال: أوجد الموقع الجغرافي للشمس في وقت غرينتش GMT 13ʰ 00ᵐ 00ˢ ، يوم 25 May 2018 إذا علمت أن:-

ميل الشمس Dec.	**20° 59.7′ S**
الزاوية الساعية لغرينتش GHA	**15° 46.0′**
	15° 46.0′ W

ميل الشمس Dec. يمثل خط العرض Lat.

الزاوية الساعية لغرينتش GHA تمثل خط الطول Long. وهي تقاس باتجاه الغرب.

الموقع الجغرافي للشمس: -

خط العرض Lat.	**20° 59.7′ S**
خط الطول Long.	**15° 46.0′ W**

<u>مثال</u>: أوجد الموقع الجغرافي للشمس في وقت غرينتش $GMT\ 07^h\ 00^m$ ، يوم 29 March 2018 إذا علمت أن:-

ميل الشمس .Dec	**03° 23.1′ N**
الزاوية الساعية لغرينتش GHA	**283° 47.5′**
	~ 360°
	076° 12.5′ E

ميل الشمس .Dec يمثل خط العرض .Lat

الزاوية الساعية لغرينتش GHA تمثل خط الطول .Long، وهي تقاس باتجاه الغرب، وبسبب تجاوز قيمتها 180° يتم حذفها من 360° وعكس إشارتها من الغرب إلى الشرق.

الموقع الجغرافي للشمس: -

خط العرض .Lat	**03° 23.1′ N**
خط الطول .Long	**076° 12.5′ E**

<u>مثال</u>: أوجد الموقع الجغرافي لكوكب المريخ في وقت غرينتش $GMT\ 03^h\ 00^m$ ، يوم 15 July 2018 إذا علمت أن:-

ميل كوكب المريخ .Dec	**24° 13.7′ N**
الزاوية الساعية لغرينتش GHA	**26° 41.2′**
	26° 41.2′ W

ميل كوكب المريخ .Dec يمثل خط العرض .Lat

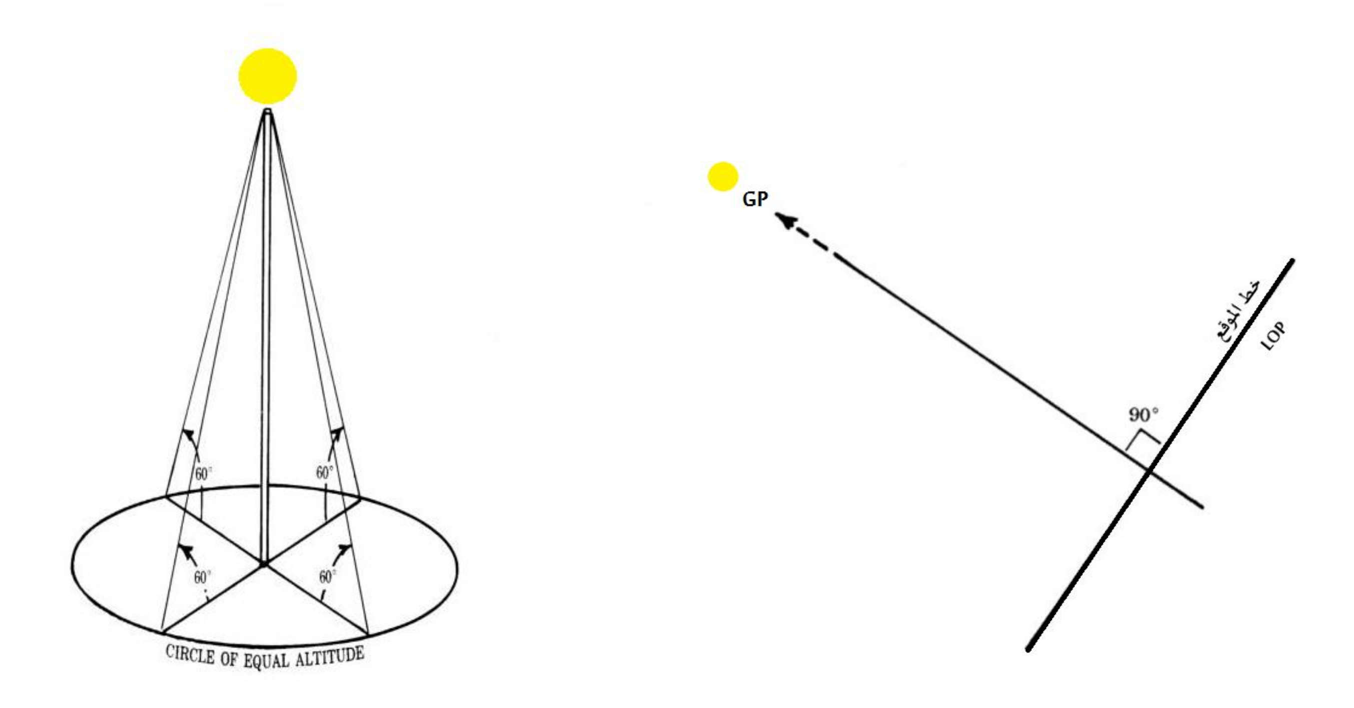
الزاوية الساعية لغرينتش GHA تمثل خط الطول .Long، وهي تقاس باتجاه الغرب.

الموقع الجغرافي لكوكب المريخ: -

خط العرض .Lat	**24° 13.7′ N**
خط الطول .Long	**26° 41.2′ W**

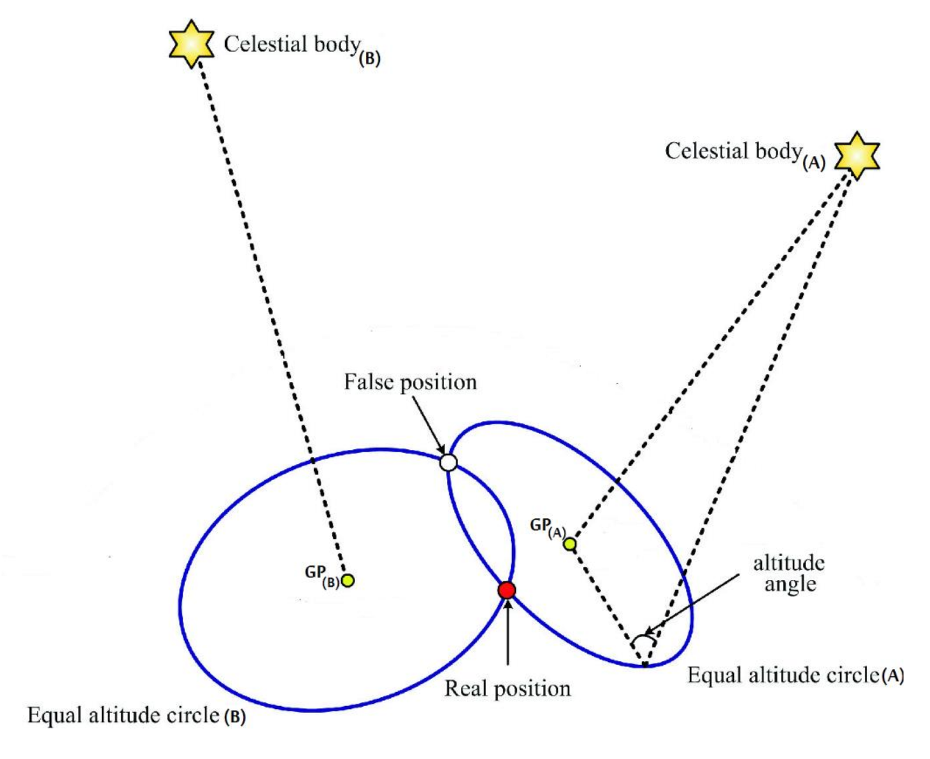
الآن تخيل نفسك واقفاً في مكان ما على سطح الكرة الأرضية. لست متأكدًا تمامًا من احداثياتك الجغرافية المتمثلة في خط العرض وخط الطول، ثم تخيل أيضًا أن ضوء الشمس يسقط مباشرة على سطح الأرض، وحيثما يسقط هذا الضوء عمودياً على السطح هناك علامة نرمزلها بالرمز X للإشارة إلى هذه النقطة. تلك النقطة تسمى الموقع الجغرافي للشمس (GP). أصبح لدينا الآن صورة اعتبارية عن الأرض مع وجود نقطتين على سطحها، أحدهما تمثل موقعك الذي تقف عليه، وعلامة X التي تشير إلى الموقع الجغرافي للشمس (GP).

يكمن جوهر الملاحة السماوية في تحديد وقياس ورسم المسافة بين هاتين النقطتين. ومن الواضح أنه إذا كان من الممكن تحديد كلتا النقطتين على سطح الأرض، فسيكون من الممكن قياس المسافة بينهما. إذا كنا نعرف إلى أي مدى نحن نبعد عن الموقع الجغرافي للشمس (GP)، فيمكننا حينئذٍ رسم دائرة على الأرض بنصف قطريساوي تلك المسافة، والقول بأننا في مكان ما على محيط هذه الدائرة. تُعرف هذه الدائرة بدائرة الموقع Position Circle أو دائرة تساوي الارتفاع Circle of equal altitude لان كل من يقف عليها سيجد أن الشمس تقع على نفس الارتفاع، ويسمى القوس الصغيرمنها العمودي على اتجاه الشمس، والذي نكتشف فيه موقعنا باسم خط الموقع line of position (LOP)، هذا لأن دائرة بنصف قطر قد يبلغ مئات الأميال سيبدو عليها القوس الصغيركخط مستقيم.



يحدث أنه باستخدام آلة قياس الارتفاع يكون من السهل جدًا قياس المسافة بين النقطتين. حيث ترتبط المسافة بين موقعنا، والموقع الجغرافي للشمس ارتباطًا مباشرًا مع قيمة درجة الارتفاع Alt. فكلما قلت درجة الارتفاع، كلما اقترب الموقع الجغرافي للشمس من موقعنا. فإذا كانت الشمس مرتفعة عالياً في السماء، فسيكون عندها الموقع الجغرافي للشمس قريبًا جدًا من موقعنا، وسيكون قطر دائرة موقعنا صغيراً جدًا. بينما إذا كانت الشمس منخفضة بالقرب من الأفق، فسنكون على بعد آلاف الأميال من الموقع الجغرافي للشمس، وسيكون قطر دائرة موقعنا بنفس الحجم. وفي كلتا الحالتين، سنكون في مكان ما على محيط إحدى تلك الدوائر.

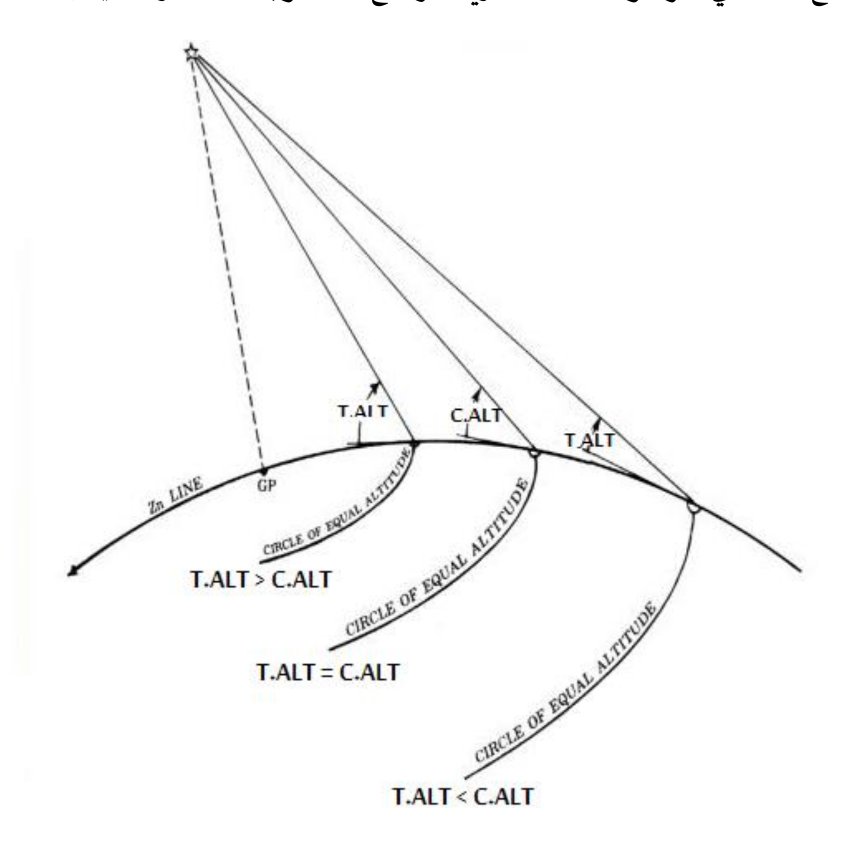
نظرياً إذا قمنا بقياس ارتفاع جرمين سماويين باستخدام آلة قياس الارتفاع، فسنحصل على دائرتي موقع، وسنعلم بأننا يجب أن نكون موجودين عند تقاطع تلك الخطوط الأقرب إلى موقعنا.



ولكن نظرًا لأن هذه النقاط قد تكون على بعد آلاف الأميال من بعضها البعض، فسنجد انه من غير الممكن عملياً رسمها على أي نوع من الخرائط، لذلك فإننا نلجأ إلى أسلوب مختلف في الرسم يعتمد على المقارنة بين الارتفاع المرصود من موقعنا في وقت محدد، وما ينبغي أن يكون عليه الارتفاع المحسوب في ذلك الوقت.

تسمى هذه الطريقة في الرصد بطريقة الفرق The Intercept، وهو فرق المسافة بين دائرة الموقع الناتجة عن الارتفاع المحسوب بناءً موقعنا الجغرافي الغير مؤكد، وبين دائرة الموقع الناتجة عن الارتفاع الحقيقي المرصود بآلة قياس الارتفاع، نسبة إلى الموقع الجغرافي للجرم السماوي GP، وتعتمد قيمة هذا الفرق على دقة موقعنا الجغرافي فكلما كان موقعنا أقرب إلى الدقة كانت قيمة الفرق صغيرة، ومن الواضح هنا أننا فعلياً نقوم بتصحيح موقعنا الجغرافي حين نستخدم هذه الطريقة في الرصد. حيث تكون قيمة الفرق أمام ثلاث حالات، وهي: -

- **أن يكون الارتفاع الحقيقي المرصود T. Alt أكبر من الارتفاع المحسوب C. Alt، وهذا يدل على أن موقع الراصد الغير مؤكد أقرب إلى الموقع الجغرافي للجرم السماوي GP، وفي هذه الحالة يكون متجه قيمة الفرق بنفس اتجاه الجرم Az.**
- **أن يكون الارتفاع الحقيقي المرصود T. Alt أصغر من الارتفاع المحسوب C. Alt، وهذا يدل على أن موقع الراصد الغير مؤكد أبعد من الموقع الجغرافي للجرم السماوي GP، وفي هذه الحالة يكون متجه قيمة الفرق بعكس اتجاه الجرم Az + 180°.**
- **أن يكون الارتفاع الحقيقي المرصود T. Alt مساوياً للارتفاع المحسوب C. Alt، وهذا يدل صحة موقع الراصد.**



خطوات تصحيح موقع الراصد بطريقة الفرق

- نرصد ارتفاع جرم سماوي محدد عند وقد غرينتش GMT
- نقوم بإضافة التصحيحات اللازمة للحصول على الارتفاع الحقيقي T. Alt للجرم السماوي.
- بمعلومية وقت الرصد GMT نستخرج كل من ميل الجرم Dec والزاوية الساعية المحلية LHA.
- باستخدام المعادلة الرياضية نوجد الارتفاع المحسوب C. Alt للجرم السماوي عند وقت الرصد GMT.

$$\sin(C.Alt) = \sin(Dec)\sin(Lat) + \cos(Dec)\cos(Lat)\cos(LHA)$$

- باستخدام المعادلة الرياضية نوجد الزاوية السمتية Az للجرم السماوي عند وقت الرصد GMT.

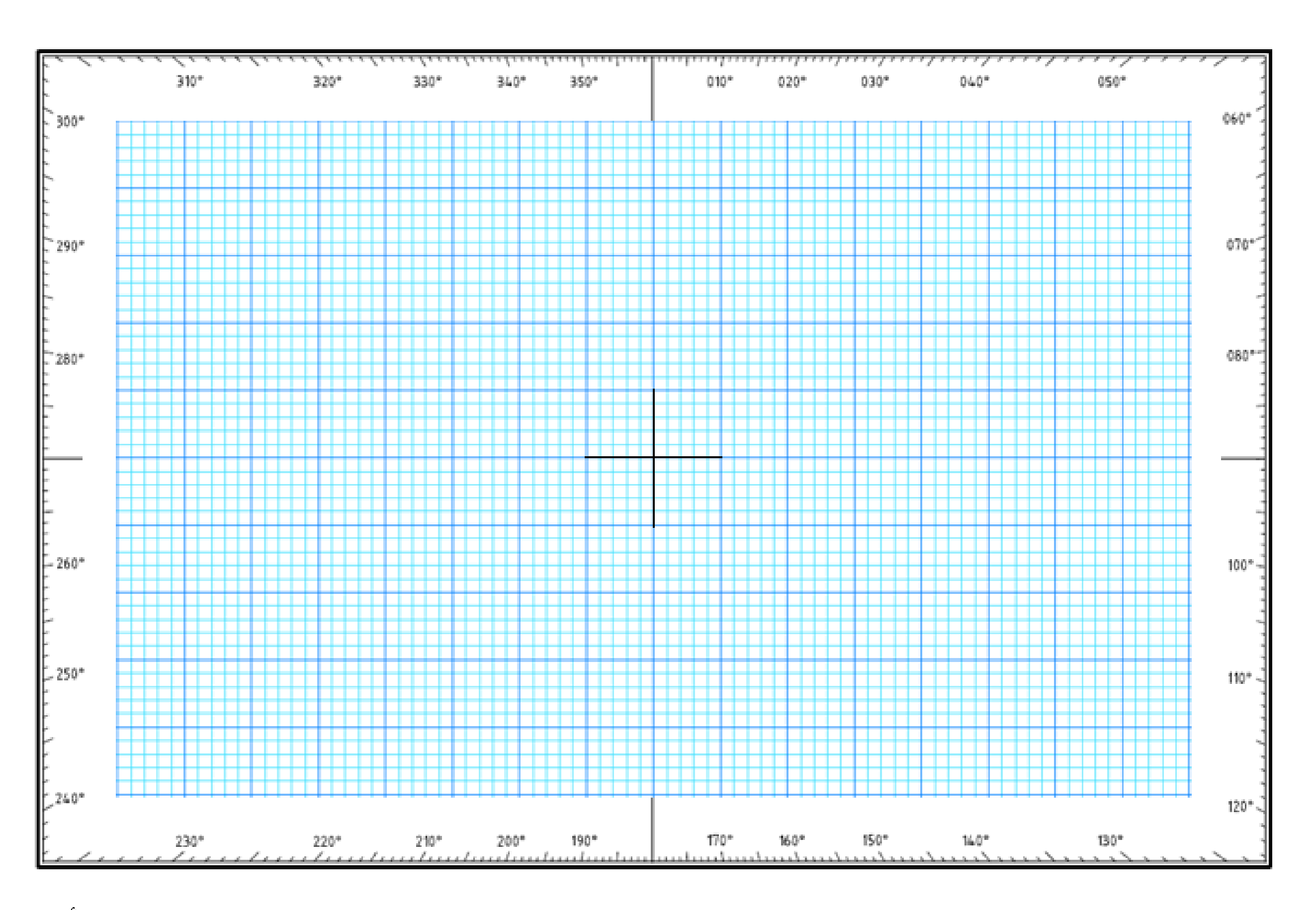
$$\cos(Az) = [\sin(Dec) - \sin(Lat)\sin(C.Alt)] \div [\cos(Lat)\cos(C.Alt)]$$

- تكون الزاوية السمتية Az المقاسة من الشمال الحقيقي بحسب القاعدة التالية: -
- IF $(180 < LHA < 360)$ ➔ $Az = Az$
- IF $(0 < LHA < 180)$ ➔ $Az = 360° - Az$
- نأخذ الفرق Intercept بين الارتفاع الحقيقي المرصود T. Alt، وبين الارتفاع المحسوب C. Alt.
- نحصل على عناصر الموقع الفلكي المتمثلة في قيمة الفرق Intercept والخط العمودي على اتجاه الجرم السماوي المسمى بخط الموقع line of position (LOP).
- كرر العملية السابقة مع جرم سماوي آخر للحصول على عناصر الموقع الفلكي للجرم السماوي الثاني.
- باستخدام ورقة رسم بياني ارسم عناصر الموقع الفلكي للجرمين السماويين من موقع الراصد.
- نقطة تقاطع خطي الموقع نسبة إلى موقع الراصد يمثل مقدار انحراف الموقع، ويحدد بقيمة كل من فرق العرض D.Lat، والتباعد .Dep.
- نستخدم قوانين السير المستوي لتصحيح موقع الراصد والحصول على الموقع الجغرافي الدقيق للراصد.
- عند استخدام طريقة الفرق في تصحيح الموقع يجب اختيار تلك الاجرام السماوية التي يكون فرق الاتجاه بينها يعادل °90 أو قريب من ذلك.

طريقة رسم عناصر الموقع الفلكي

عناصر الموقع الفلكي هي قيمة الفرق Intercept بين الارتفاع الحقيقي المرصود T. Alt والارتفاع المحسوب C. Alt، وخط الموقع (LOP) line of position القائم على اتجاه الجرم السماوي، ويتم رسم هذه العناصر على ورقة رسم بياني بعد تحديد موقع الراصد الغير مؤكد أو التقريبي، وذلك باتباع الخطوات التالية: -

- **نحدد مقياس الرسم على ورقة الرسم البياني، والذي يكون عادة 1 سم لكل ′1 دقيقة قوسية.**
- **نحدد موقع الراصد التقريبي والمطلوب تصحيحه في منتصف الورقة (Lat_A , $Long_A$).**



- **بعد حساب كل من قيمة الفرق Intercept، والزاوية السمتية Az للجرم السماوي. نحدد الاتجاه من أجل رسم الزاوية السمتية Az للجرم، وذلك بحسب القاعدة التالية:-**

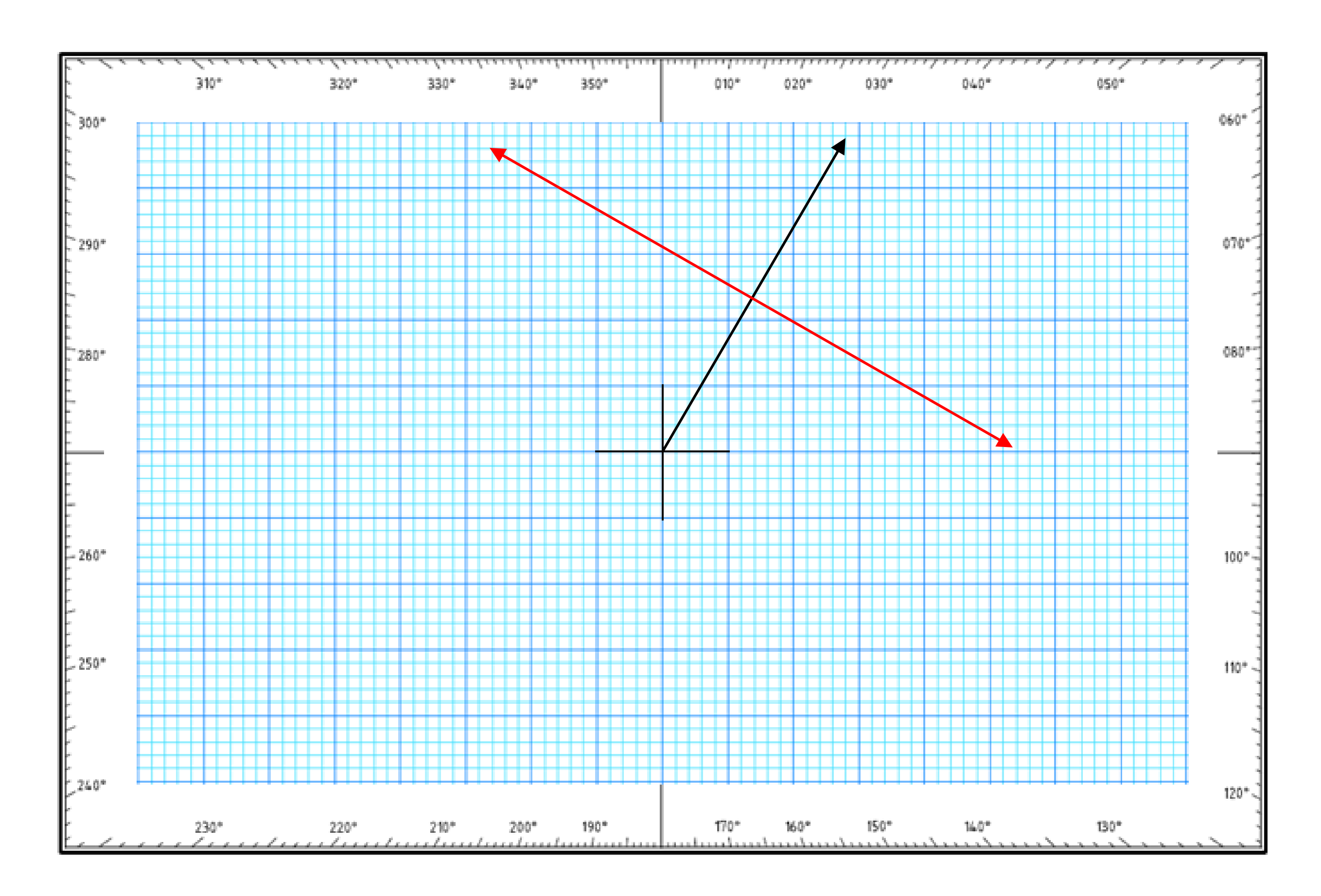
- **T. Alt > C.Alt , Az = Az**
- **T. Alt < C.Alt , Az = Az + 180°**

- نرسم اتجاه الزاوية السمتية Az المصححة للجرم السماوي، ونقيس عليه قيمة الفرق Intercept ابتداءً من موقع الراصد، ونقيم خط عمودي على خط اتجاه الجرم السماوي يمثل خط الموقع LOP.

- بفرض أن قيم عناصر الموقع الفلكي للجرم السماوي الأول هي :-

- **Az = 030° ,   T. Alt > C.Alt**

- **Intercept = 2.3′**

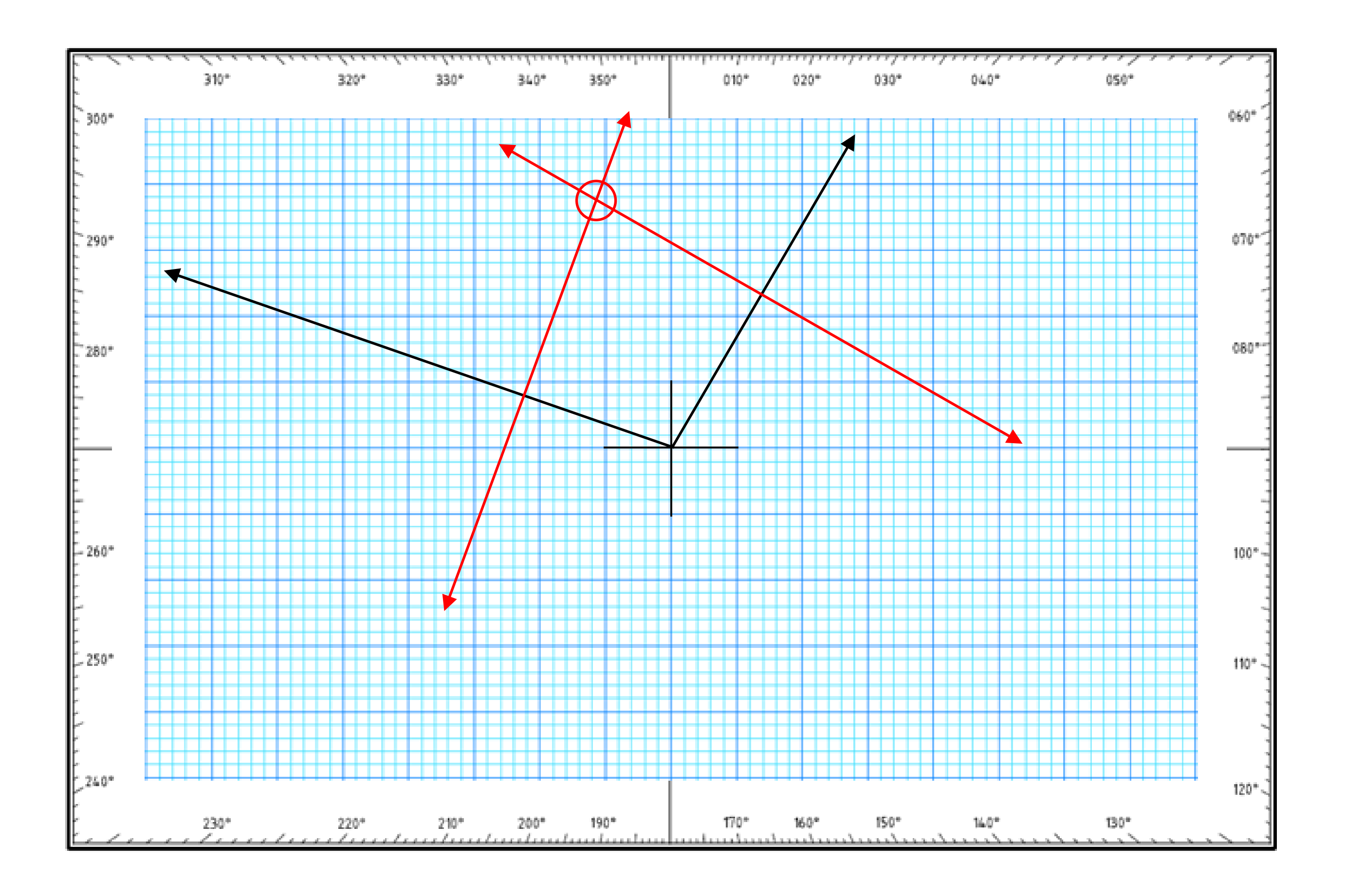


- نكرر العملية الحسابية السابقة بعد رصد الجرم السماوي الثاني، ولنفترض بأننا حصلنا على قيم عناصر الموقع الفلكي للجرم السماوي الثاني كالتالي :-

- **Az = 110° ,   T. Alt < C.Alt**

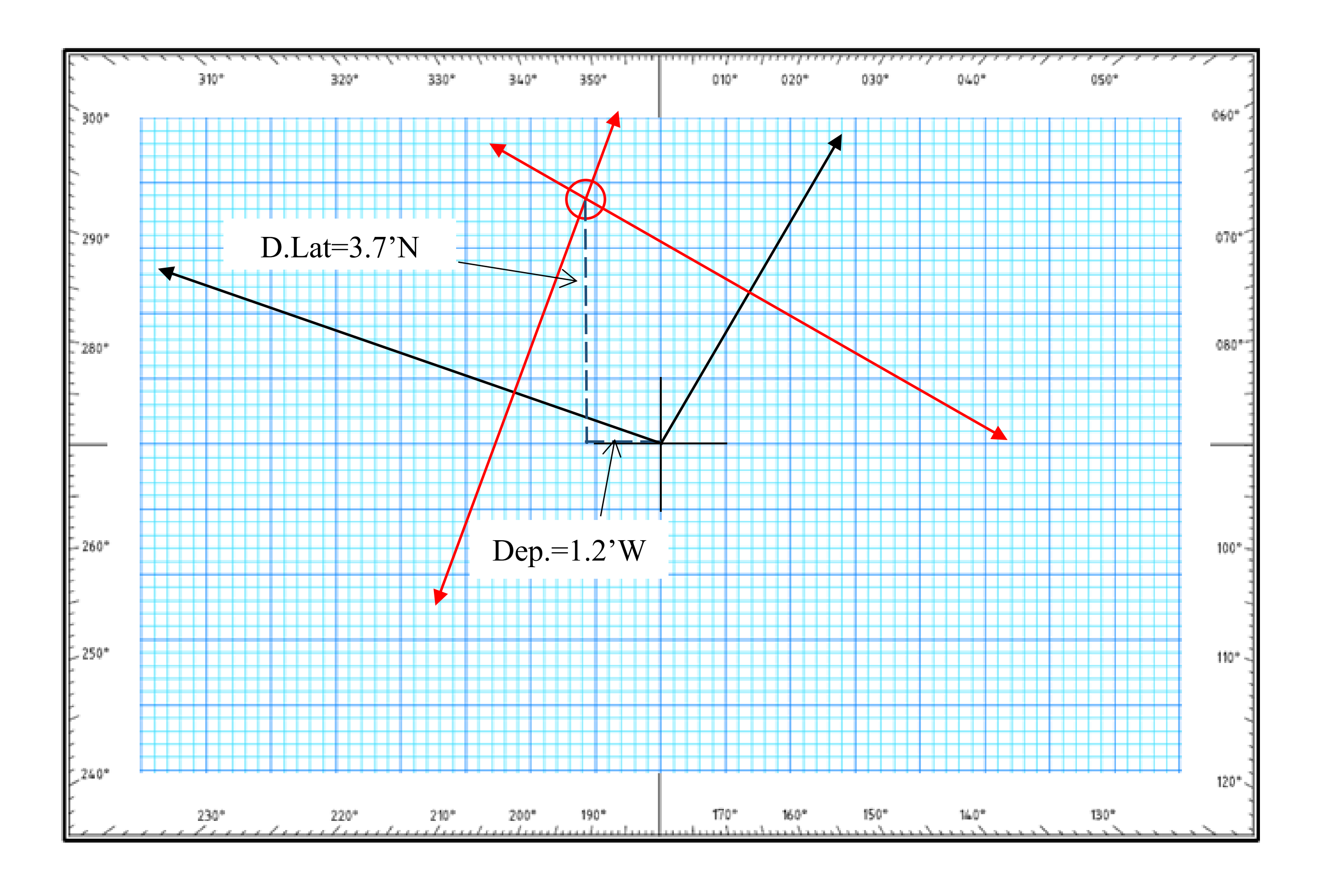
- **Az = 110° + 180° = 290°**

- **Intercept = 2′**



- نرسم اتجاه الزاوية السمتية Az المصححة للجرم السماوي الثاني، ونقيس عليه قيمة الفرق Intercept ابتداءً من موقع الراصد، ونقيم خط عمودي على خط اتجاه الجرم يمثل خط الموقع LOP الثاني.
- نقطة تقاطع خطي الموقع نسبة إلى موقع الراصد يمثل مقدار انحراف الموقع (Lat_A , $Long_A$) عن الموقع الجغرافي الحقيقي، ويحدد بقيمة كل من فرق العرض D.Lat، والتباعد .Dep.
- باستخدام قوانين السير المستوي نحصل على الموقع الجغرافي الدقيق للراصد.

- $Lat = Lat_A \pm D.Lat$
- $D.Long = Dep. \div Cos\ (Lat)$
- $Long = Long_A \pm D.Long$



يعتبر أسلوب حل الرصدة الفلكية بطريقة الفرق من أشهر الأساليب المستخدمة في علم الملاحة الفلكية، والتي لا تزال تسخدم عند ربابنة السفن واليخوت حتى يومنا هذا. إذ أنها تستخدم في تصحيح الموقع الجغرافي المحسوب بناءً على خط سير السفينة، والمسافة التي تقطعها خلال فترة زمنية محددة، والذي يشوبه تأثير كل من التيارات البحرية والرياح، الأمر الذي يجعل السفينة تنحرف عن موقعها الحقيقي الدقيق، ولهذا كانوا يستخدمون طريقة الفرق من أجل تصحيح موقعهم الحسابي كلما سنحت لهم فرصة الرصد الفلكي.

ونحن إذ نتطرق إلى شرح هذه الطريقة إنما نفعل ذلك من أجل استخدامها في تصحيح موقع الراصد الغير مؤكد. سواء كان ذلك الموقع الذي تم الحصول عليه بالاساليب التقريبية في إيجاد خط العرض والطول، والرصدات الغير دقيقة أو الموقع الذي تم حسابه باستخدام قوانين السير المستوي.

مثال: قام راصد في الموقع الجغرافي 29° 12′N , 47° 56′E مساء يوم 31 March 2021 بأخذ أرصاد النجوم التالية:-

- **رصد نجم السماك الرامح Arcturus، وكانت نتائج الرصد:**

وقت الرصد GMT	**$18^h\ 53^m\ 25^s$**
الارتفاع الحقيقي T.Alt	**40° 36.8′**
ميل النجم Dec	**19° 04.4′N**
الزاوية الساعية المحلية للنجم LHA	**306° 29.7′**

- **رصد نجم الدبة Dubhe، وكانت نتائج الرصد:**

وقت الرصد GMT	**$18^h\ 56^m\ 42^s$**
الارتفاع الحقيقي T.Alt	**57° 27.7′**
ميل النجم Dec	**61° 38.3′N**
الزاوية الساعية المحلية للنجم LHA	**355° 13.4′**

1- **أوجد عناصر خط الموقع LOP بالحل بطريقة الفرق Intercept.**
2- **ارسم خط الموقع للرصدتين، وصحح موقع الراصد.**

خطوات الحل: -

أولاً: نوجد عناصر الموقع لنجم السماك الرامح Arcturus

$$\sin(C.\ Alt) = \sin(Dec)\sin(Lat) + \cos(Dec)\cos(Lat)\cos(LHA)$$

$$\sin(C.\ Alt) = \sin(19°\ 04.4')\sin(29°\ 12') + \cos(19°\ 04.4')\cos(29°\ 12')\cos(306°\ 29.7')$$

$$\sin(C.\ Alt) = 0.65009$$

$$C.\ Alt = 40°\ 32.9'$$

Intercept = T.Alt - C. Alt

Intercept = 40° 36.8′- 40° 32.9′

<u>Intercept = 03.9′</u>

Cos (Az) = [Sin (Dec) - Sin (Lat) Sin (C. Alt)] ÷ [Cos (Lat) Cos (C.Alt)]

Cos (Az) = [Sin (19° 04.4′) - Sin (29° 12′) Sin (40° 32.9′)] ÷ [Cos (29° 12′) Cos (40° 32.9′)]

Cos (Az) = 0.01451

<u>Az = 89.2°</u>

ثانياً: نوجد عناصر الموقع لنجم الدبة Dubhe

Sin (C. Alt) = Sin (Dec) Sin (Lat) + Cos (Dec) Cos (Lat) Cos (LHA)

Sin (C. Alt) = Sin (61° 38.3′) Sin (29° 12′) + Cos (61° 38.3′) Cos (29° 12′) Cos (355° 13.4′)

Sin (C. Alt) = 0.84253

C. Alt = 57° 24.5′

Intercept = T.Alt - C. Alt

Intercept = 57° 27.7′- 57° 24.5′

<u>Intercept = 03.2′</u>

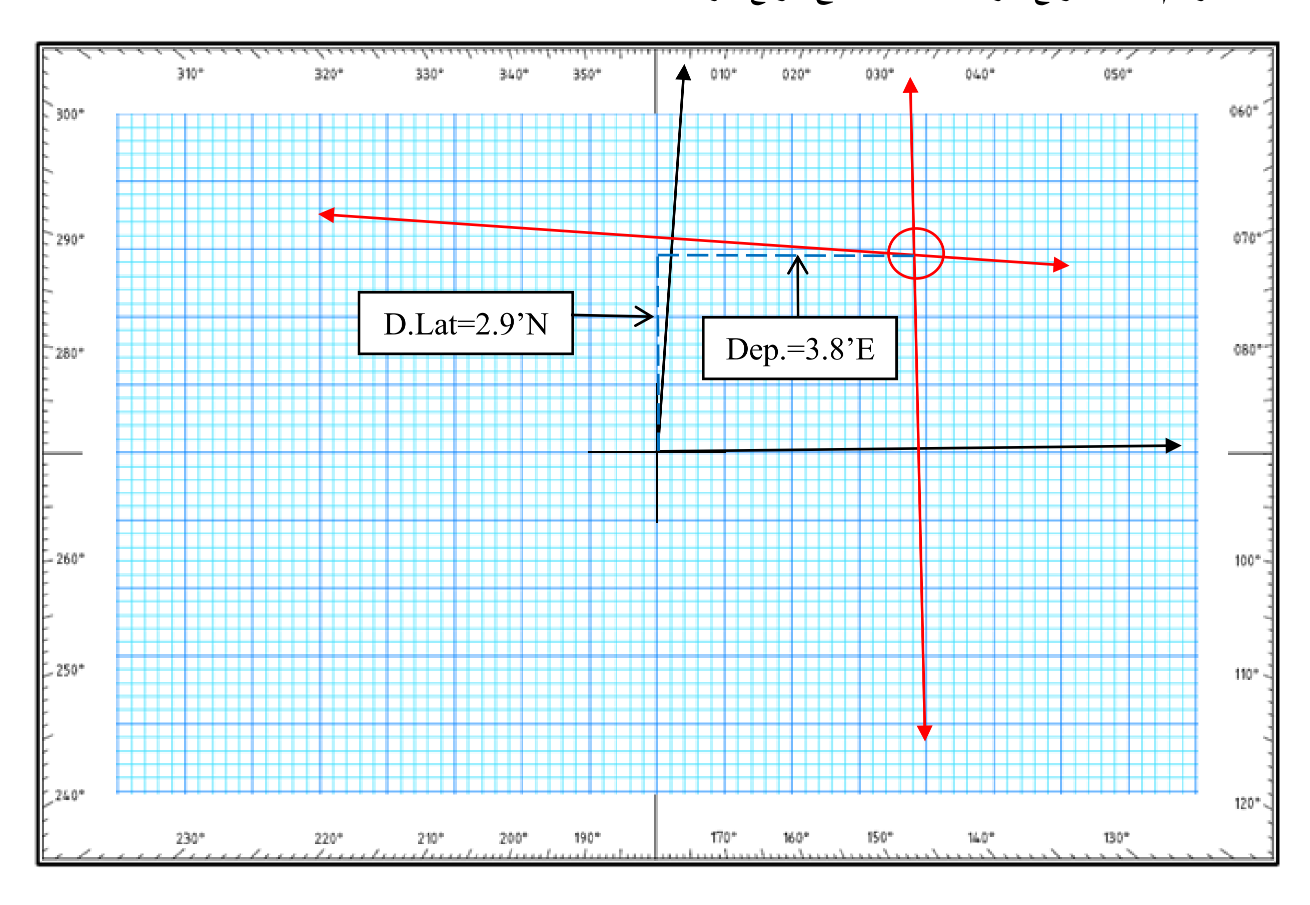
Cos (Az) = [Sin (Dec) - Sin (Lat) Sin (C. Alt)] ÷ [Cos (Lat) Cos (C.Alt)]

Cos (Az) = [Sin (61° 38.3′) - Sin (29° 12′) Sin (57° 24.5′)] ÷ [Cos (29° 12′) Cos (57° 24.5′)]

Cos (Az) = 0.99730

<u>Az = 04.2°</u>

ثالثاً: نرسم خط الموقع للرصدتين، ونصحح موقع الراصد.



$Lat = Lat_A \pm D.Lat$

Lat = 29° 12′N + 00° 2.9′N

<u>Lat = 29° 14.9′N</u>

D.Long = Dep. ÷ Cos (Lat)

D.Long = 00° 3.8′ ÷ Cos (29° 14.9′)

D.Long = 00° 3.3′ E

$Long = Long_A \pm D.Long$

Long = 47° 56′E + 00° 3.3′E

<u>Long = 47° 59.3′E</u>

إذاً موقع الراصد المصحح هو 29° 14.9′N , 047° 59.3′E

<u>مثال</u>: قام راصد في الموقع الجغرافي 30° 15.6′E , 30° 57.7′N مساء يوم 12 April 2022 بأخذ أرصاد النجوم التالية:-

- **رصد نجم العيوق Capella، وكانت نتائج الرصد:**

وقت الرصد GMT	**$16^h\ 45^m\ 12^s$**
الارتفاع الحقيقي T.Alt	**53° 43.6′**
ميل النجم Dec	**46° 01.1′N**
الزاوية الساعية المحلية للنجم LHA	**42° 50.7′**

- **رصد نجم الشعرى اليمانية Sirius، وكانت نتائج الرصد:**

وقت الرصد GMT	**$^s1^m\ 455^h\ 61$**
الارتفاع الحقيقي T.Alt	**37° 14.6′**
ميل النجم Dec	**16° 44.8′S**
الزاوية الساعية المحلية للنجم LHA	**23° 31.5′**

1- **أوجد عناصر خط الموقع LOP بالحل بطريقة الفرق Intercept.**
2- **ارسم خط الموقع للرصدتين، وصحح موقع الراصد.**

خطوات الحل: -

أولاً: نوجد عناصر الموقع لنجم العيوق Capella

Sin (C. Alt) = Sin (Dec) Sin (Lat) + Cos (Dec) Cos (Lat) Cos (LHA)

Sin (C. Alt) = Sin (46° 01.1′) Sin (30° 57.7′) + Cos (46° 01.1′) Cos (30° 57.7′) Cos (42° 50.7′)

Sin (C. Alt) = 0.80679

C. Alt = 53° 47.0′

Intercept = T.Alt - C. Alt

Intercept = 53° 43.6′ - 53° 47.0′ (T.Alt < C.Alt)

<u>Intercept = 3.4′</u>

Cos (Az) = [Sin (Dec) - Sin (Lat) Sin (C. Alt)] ÷ [Cos (Lat) Cos (C.Alt)]

Cos (Az) = [Sin (46° 01.1′) - Sin (30° 57.7′) Sin (53° 47.0′)] ÷ [Cos (30° 57.7′) Cos (53° 47.0′)]

Cos (Az) = 0.60099

Az = 53.6°　　　IF (0 < LHA < 180) → Az = 360° – Az

Az = 306.4°　　　IF (T.Alt < C.Alt) → Az = Az + 180°

<u>Az = 126.4°</u>

ثانياً: نوجد عناصر الموقع لنجم الشعرى اليمانية Sirius

Sin (C. Alt) = Sin (Dec) Sin (Lat) + Cos (Dec) Cos (Lat) Cos (LHA)

Sin (C. Alt) = Sin (-16° 44.8′) Sin (30° 57.7′) + Cos (-16° 44.8′) Cos (30° 57.7′) Cos (23° 31.5′)

Sin (C. Alt) = 0.60465

C. Alt = 37° 12.2′

Intercept = T.Alt - C. Alt

Intercept = 37° 14.6′- 37° 12.2′

<u>Intercept = 2.4′</u>

Cos (Az) = [Sin (Dec) - Sin (Lat) Sin (C. Alt)] ÷ [Cos (Lat) Cos (C.Alt)]

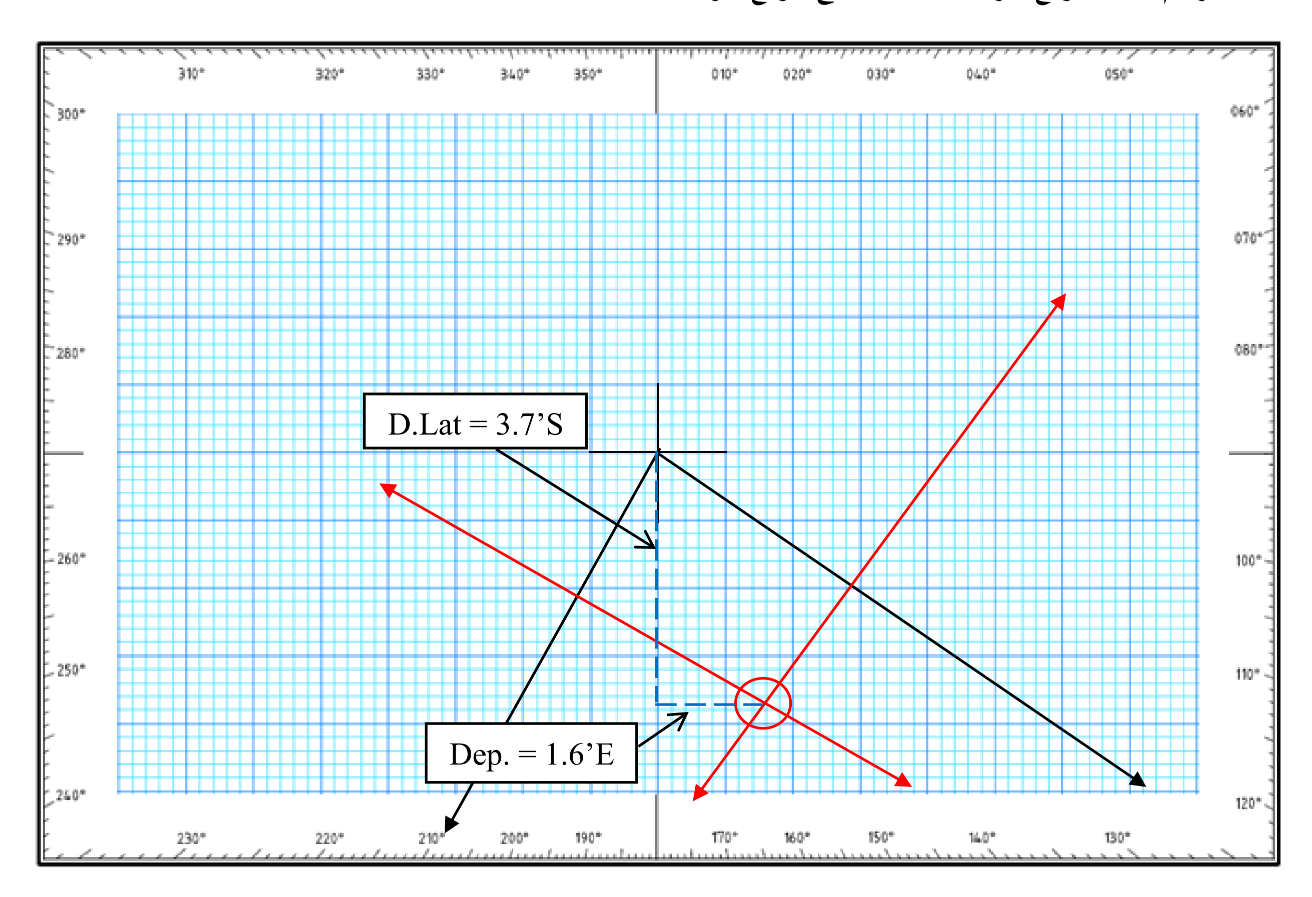
Cos (Az) = [Sin (-16° 44.8′) - Sin (30° 57.7′) Sin (37° 12.2′)] ÷ [Cos (30° 57.7′) Cos (37° 12.2′)]

Cos (Az) = - 0.87731

Az = 151.3°　　　IF (0 < LHA < 180) → Az = 360° – Az

<u>Az = 208.7°</u>

ثالثاً: نرسم خط الموقع للرصدتين، ونصحح موقع الراصد.



$Lat = Lat_A \pm D.Lat$

Lat = 30° 57.7′N - 00° 3.7′S

<u>Lat = 30° 54′N</u>

D.Long = Dep. ÷ Cos (Lat)

D.Long = 00° 1.6′ ÷ Cos (30° 54′)

D.Long = 00° 1.8′ E

$Long = Long_A \pm D.Long$

Long = 30° 15.6′E + 00° 1.8′E

<u>Long = 30° 17.4′E</u>

إذاً موقع الراصد المصحح هو 30° 54′N , 030° 17.4′E

أخطاء الرصد

في أغلب الأحيان، للحصول على موقع جغرافي بطريقة الملاحة الفلكية وبشكل موثوق به، سيستخدم الراصد ثلاثة أو أكثر من الأجرام السماوية من أجل تقليل الأخطاء، يمكننا بالطبع استخدام نفس الجسم السماوي مرتين، ولكن في أوقات مختلفة من اليوم لتحقيق نفس الغاية.

قد يتم التعرف على النجوم أو الكواكب عن طريق الخطأ، وإذا كان لدى الراصد جرمين سماويين فقط، وكان أحدهما خطأ، فقد يجد نفسه على سبيل المثال في وسط الصحراء الغربية بدلاً عن وسط الجزيرة العربية، ومن غير المحتمل أن يخطئ الشخص في التعرف على الشمس أو القمر، لكن أخطاء القياس والرصد والحساب تظل واردة وبحاجة إلى الضبط والتقليل من أجل الوصول إلى أفضل النتائج.

يشتمل قياس كل من الوقت والارتفاع على أخطاء عشوائية وأخطاء منهجية. يمكن للراصد أيضًا أن يكون لديه أخطاء في الحساب وأخطاء في التعرف على النجوم وأخطاء في إضافة التصحيحات، ناهيك عن أنه من الممكن ببساطة قراءة واستخراج الأرقام بطريقة خاطئة من جهاز الرصد أو من التقويم البحري.

يتم تقليل الأخطاء العشوائية في القياس عن طريق أخذ رصدات متعددة لنفس الجرم السماوي على فترات زمنية متقاربة (بفارق ثوان فقط)، وإيجاد متوسط النتائج على أمل أن يصل متوسط الأخطاء العشوائية إلى الصفر.

الأخطاء المنهجية (أخطاء القيمة الثابتة الموجودة على الدوام) مثل الخلل في آلة السدس نفسها، أو الساعات التي انحرفت عن الوقت الحقيقي الصحيح. كلها بحاجة إلى التقليل من خلال التقنية المناسبة، ومراعاتها أثناء ممارسة الملاحة السماوية.

مصدر آخر للخطأ المنهجي، وهو الخطأ الشخصي بمعنى أسلوبك الخاطئ الثابت في ممارسة هذا الفن. فقد ترصد دائمًا زاوية أصغر أو أكبر من الزاوية الصحيحة، أو دائمًا ما تكون بطيئًا بمقدار ثانية واحدة في قراءة الساعة وتسجيل الوقت بعد عملية الرصد.

وتبقى حقيقة أن الممارسة، والتمرين المستمرّين في هذا العلم وتطبيقاته تزيد من خبرة الراصد، وتساعده في تحسين مستواه، وصقل مهاراته المعرفية. فالممارسة تقودك إلى الإتقان.

الممارسات الجيدة وتقنيات الحد من الأخطاء

- اقتن أدوات الرصد ذات الجودة العالية، والمناسبة بشكل يتلاءم مع مستوى ممارستك لهذا العلم، وتأكد من تصحيح أخطاء الأدوات المستخدمة في عملية الرصد، وعلى رأسها أداة قياس الارتفاع، وساعة التوقيت.
- يمكن لمجموعة من 3 أو 7 رصدات لكل جرم سماوي معروف أن تقلل من أخطاء القياس العشوائية.
- يؤدي تأثير الرصدات المتعددة لنفس الجرم السماوي إلى حدوث أخطاء عشوائية. يكون بعضها بقيمة موجبة (+)، والبعض الآخر بقيمة سالبة (-)، ومن أجل إزالتها أو ايصالها بشكل أقرب ما يكون إلى القيمة صفر. استخدم ورقة رسم بياني، وقم بتوقيع مجموعة الرصدات بالوقت على المحور الأفقي والارتفاع على المحور الرأسي. ثم ارسم خطًا مستقيماً يمثل خط الاتجاه العام لمجموعة الرصدات، ومن هذا الخط يمكن اكتشاف الرصدات الشاذة واستبعادها.
- الهدف من وراء أخذ مجموعة من الرصدات لنفس الجرم السماوي هو اكتشاف الرصدة الشاذة، والتي لا تتسق مع بقية الرصدات، والتخلص منها باستبعادها، ولو تركت فإنها في الحقيقة ستؤدي إلى سحب خط الاتجاه العام بعيداً عن القيمة المناسبة، وسنواجه أخطاء فادحة عند احتساب النتائج.
- من الممكن حساب المتوسط الحسابي .بأن تأخذ مجموع قيم درجات الارتفاع وتقسمها على عددها الإجمالي، وكذلك تفعل مع أوقات الرصد بعد استبعاد الرصدات الشاذة.
- لإيجاد خط الطول اختر الاجرام السماوية القريبة من الدائرة الرأسية الأولى Prime Vertical Circle. بمعنى تلك الاجرام التي يكون اتجاهها °90/°270 أو قريبة من ذلك. فعندما يكون الجرم السماوي في هذا الموقع فإن الخطأ الصغير في قياس ارتفاع الجرم يُحدث أقل التأثير في قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA.
- لإيجاد خط العرض اختر الاجرام السماوية الواقعة على خط الزوال المحلي أو القريبة منه. بمعنى تلك الاجرام التي يكون اتجاهها °000/°180 أو قريبة من ذلك.
- استخدم أكثر من طريقة لتحصيل النتيجة المطلوبة، وقارن بين النتائج من أجل التأكد من صحة الحساب.
- استخدم البيانات الفلكية الصحيحة، والتي تتوفر من خلال التقاويم الفلكية المعتمدة والموثوقة.
- حاول معرفة موقعك الجغرافي التقريبي قبل شروعك في حل المسائل، فهذا يمنحك تصور مسبق عن موقعك.

التعامل مع أخطاء القياس العشوائية

- نأخذ مجموعة مكونة من 3 إلى 7 رصدات لجرم سماوي محدد، وبشكل متتالي بحيث لا يزيد الفارق الزمني بين رصدة وأخرى عن 25 ثانية. ثم نرتب بيانات الرصد في جدول حتى يسهل التعامل معها.
- نستخدم ورقة رسم بياني ونحدد عليها المحور السيني الافقي المخصص لمتغير زمن الرصد، وكذلك نحدد المحور الصادي الرأسي المخصص لمتغير ارتفاع الجرم السماوي. ثم نقوم بتحديد مدى القيم المراد تمثيلها بيانياً، وذلك عن طريق تحديد أعلى قيمة وأقل قيمة على كلا المحورين السيني والصادي، وكذلك نقوم بتحديد عدد الوحدات بين كل قيمتين متتاليتين، وذلك عن طريق تقسيم الأرقام على المحورين بحيث يكون الفرق بينها ثابتاً كأن يكون وحدة واحدة، أو وحدتين، أو غير ذلك، وهذا يعتمد على مدى كِبر أو صِغر البيانات المراد تمثيلها بيانياً.
- نقوم بتوقيع الأزواج المرتبة لبيانات الرصد (زمن الرصد، ارتفاع الجرم السماوي) على ورقم الرسم البياني لنحصل على شكل الانتشار، وبطبيعة الحال سيظهر الشكل الانتشاري للبيانات أن هناك علاقة خطية بين المتغيرين تعرف باسم الارتباط التام. حيث أن هناك علاقة بين مرور الوقت وارتفاع الجرم السماوي.
- نستخدم طريقة الانحدار الخطي البسيط، والذي تعتبر احدى الطرائق الواسعة الاستعمال لملائمة خط الاتجاه العام، فإذا كانت الظاهرة تزيد او تنقص بمقدار ثابت أو شبه ثابت لكل مدة زمنية فان خط الاتجاه العام يكون على صورة خط مستقيم موافق للبيانات، وبالرغم من أن هناك العديد من الخطوط التي قد تصف العلاقة بين المتغيرين يبقى عليك تقدير وإيجاد افضل خط مستقيم يطابق نقاط الانتشار بهدف ملاءمة العلاقة بين المتغيرين.
- ستظهر الرصدات الشاذة والغير متسقة مع بقية الرصدات بعيدة عن الخط المستقيم المرسوم، وهذا يدل على خطأ هذه الرصدة، ولذلك نقوم بتجاهلها واستبعادها.
- على طول امتداد الخط المستقيم نحدد نقطة واحدة، ونأخذ ما يقابلها من وقت على المحور السيني ودرجة ارتفاع على المحور الصادي، ونستخدم هذه البيانات في حل المسائل الحسابية وتحصيل النتائج.

<u>مثال</u>: قام راصد بأخذ مجموعة مكونة من ستة رصدات بشكل متتالي لارتفاع الشمس موضحة على النحو التالي: -

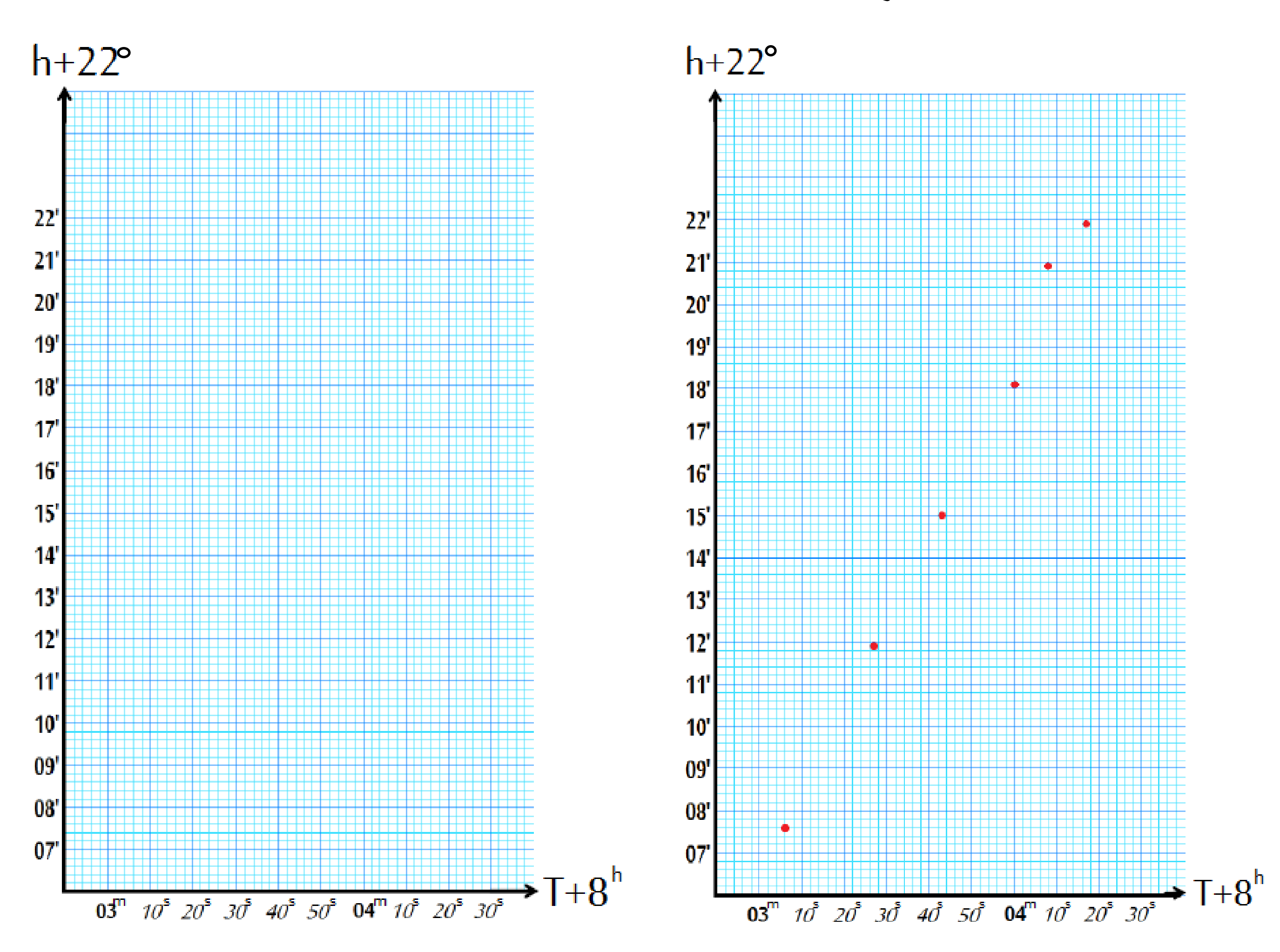
وقت الرصد T	$08^h\ 03^m\ 06^s$	$08^h\ 03^m\ 27^s$	$08^h\ 03^m\ 43^s$	$08^h\ 03^m\ 58^s$	$08^h\ 04^m\ 08^s$	$08^h\ 04^m\ 17^s$
درجة الارتفاع h	$22°\ \ 07.6'$	$22°\ \ 11.9'$	$22°\ \ 15.0'$	$22°\ \ 18.1'$	$22°\ \ 20.9'$	$22°\ \ 21.9'$

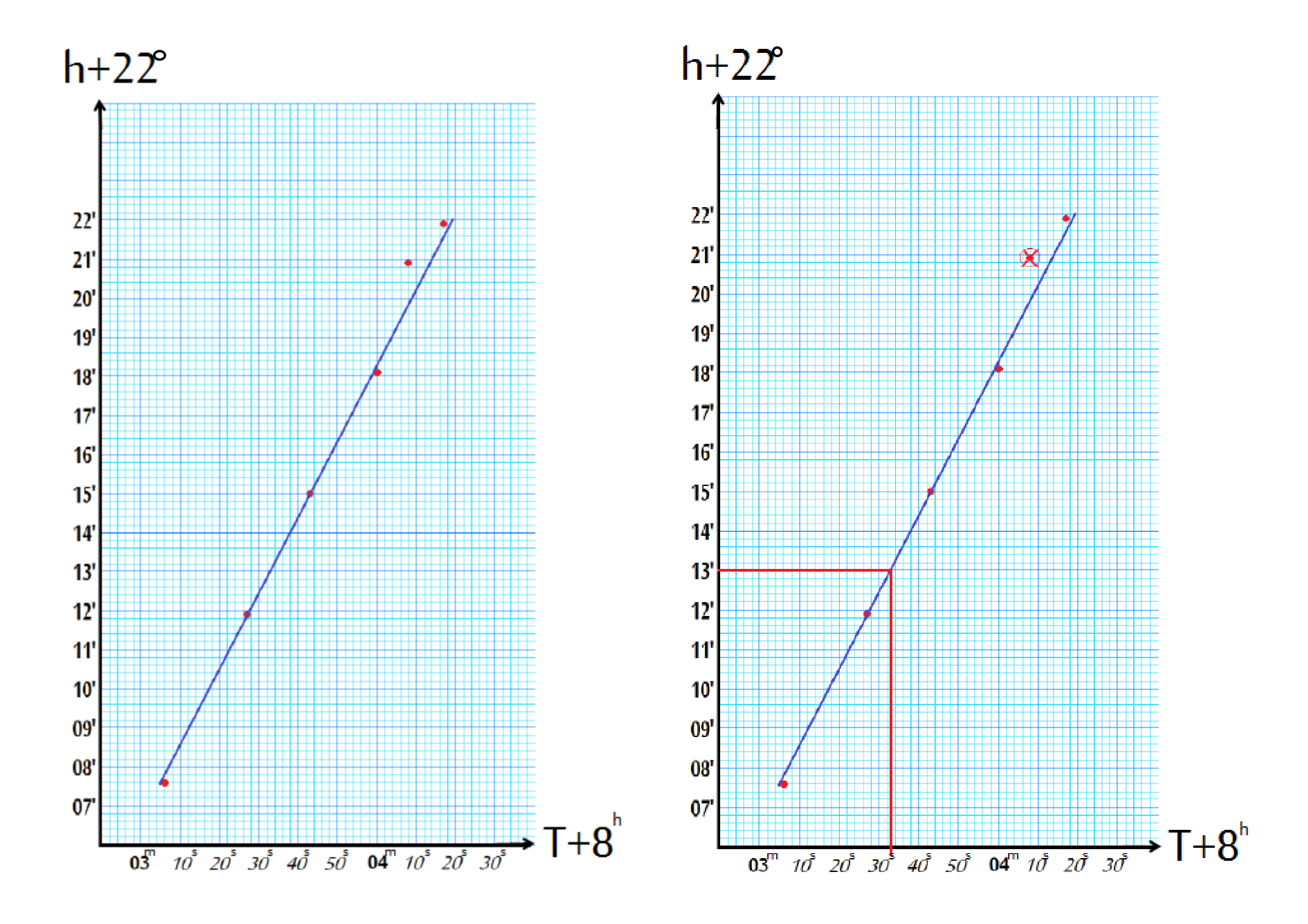
تعامل مع أخطاء القياس العشوائية من خلال تمثيلها بيانياً، وتحديد خط الاتجاه العام لمجموعة البيانات. ثم

استخرج الوقت عندما تكون درجة ارتفاع الشمس $22°\ \ 13.0'$ بعد استبعاد الرصدات الشاذة.

عدد الوحدات المستخدمة في التمثيل البياني: -

- **وحدة واحدة لكل 10^s ثوان زمنية.**
- **وحدة واحدة لكل $01'$ دقيقة قوسية.**





من خلال التمثيل البياني، وبعد استبعاد الرصدة الخامسة لانحرافها عن خط الاتجاه العام لمجموعة الرصدات

تكون درجة ارتفاع الشمس $22° \;\; 13.0'$ عند الساعة $08^h\ 03^m\ 33^s$.

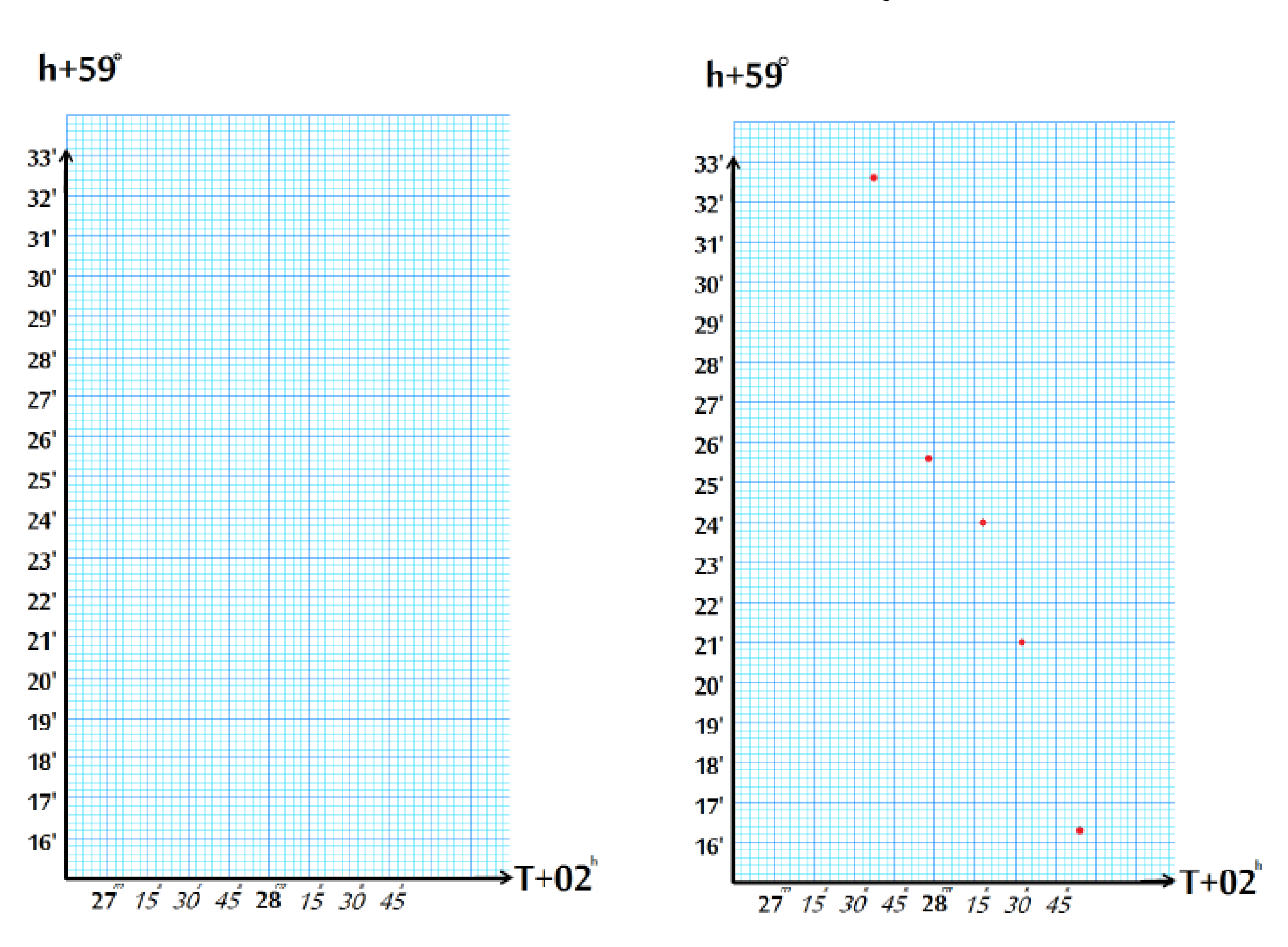
مثال: تم أخذ خمسة رصدات بشكل متتالي لارتفاع نجم السماك الرامح Arcturus موضحة في الجدول التالي: -

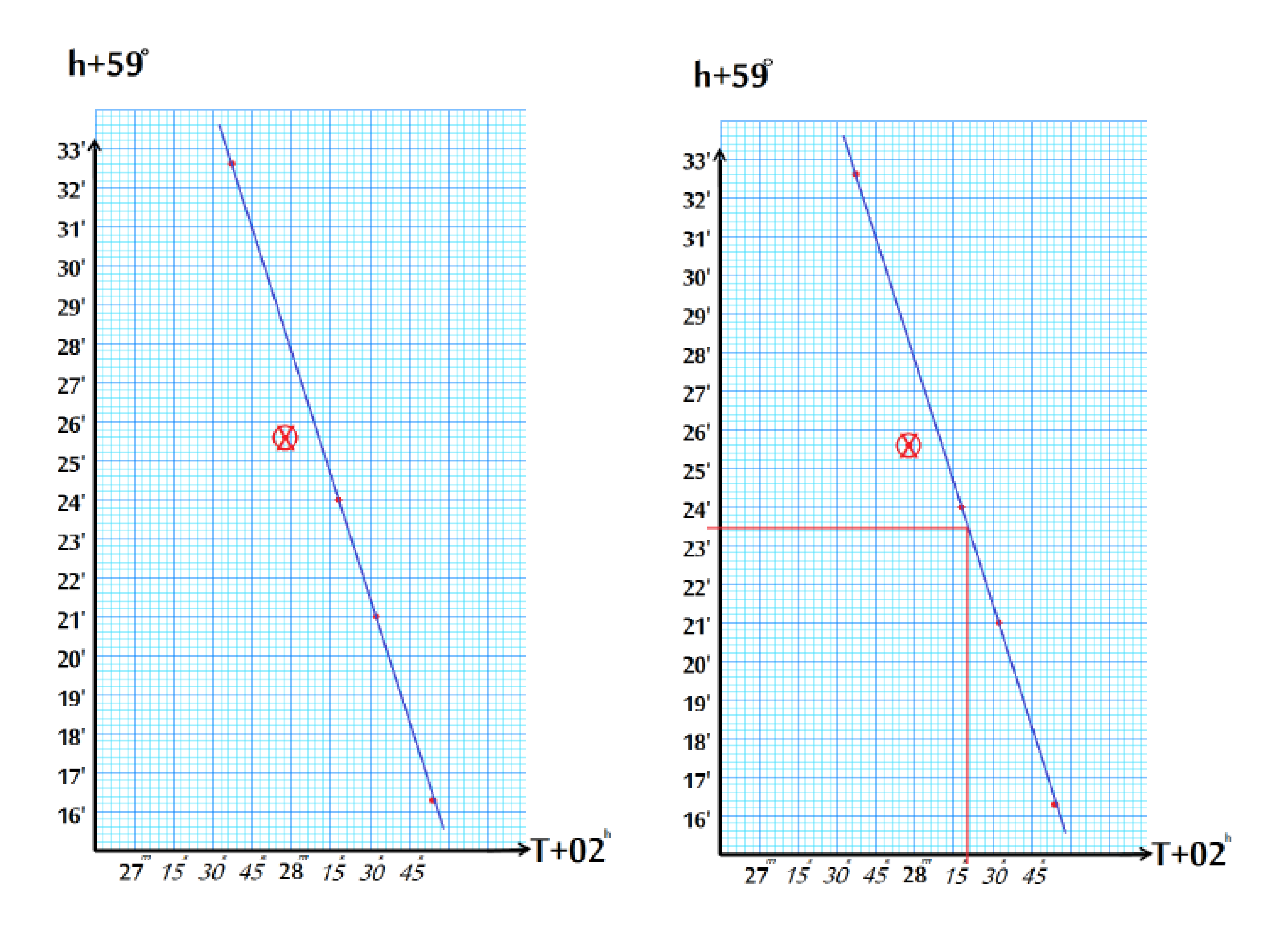
وقت الرصد T	$02^h\ 27^m\ 38^s$	$02^h\ 27^m\ 59^s$	$02^h\ 28^m\ 18^s$	$02^h\ 28^m\ 32^s$	$02^h\ 28^m\ 54^s$
درجة الارتفاع h	59° 32.6′	59° 28.1′	59° 24.0′	59° 21.0′	59° 16.3′

تعامل مع أخطاء القياس العشوائية من خلال تمثيلها بيانياً، وتحديد خط الاتجاه العام لمجموعة البيانات. ثم احسب المتوسط الحسابي لمجموعة الرصدات، وقارنها مع النتيجة المستخرجة من الرسم بعد أن تستبعد الرصدات الشاذة.

عدد الوحدات المستخدمة في التمثيل البياني: -

- وحدة واحدة لكل 15^s ثوان زمنية.
- وحدة واحدة لكل 01′ دقيقة قوسية.





المتوسط الحسابي يعادل مجموع القيم مقسوم على عددها الإجمالي.

المتوسط الحسابي لارتفاع النجم هو $59° \ 23' \ 28''$ ما يعادل حوالي $59° \ 23.5'$

المتوسط الحسابي لزمن الرصد هو $02^h \ 28^m \ 20^s$

من خلال التمثيل البياني، وبعد استبعاد الرصدة الثانية لانحرافها عن خط الاتجاه العام لمجموعة الرصدات يبلغ نجم السماك الرامح Arcturus درجة الارتفاع $59° \ 23.5'$ عند الساعة $02^h \ 28^m \ 20^s$.

لمحة تاريخية حول أدوات الملاحة السماوية[1]

أين نحن؟ هذا سؤال روتيني يتم طرحه عدة مرات في اليوم أثناء السفر والابحار في منتصف المحيط. لكن يصبح هذا السؤال ملحاً عندما تقترب السفينة من الاخطار الملاحية، وتعتمد حياة البحارة وسلامة السفينة وحمولتها على إيجاد جواب سريع ودقيق لهذا السؤال. إن مهمة الملاح هي تقديم هذه الإجابة. فما الذي يحتاجه الملاحون لمعرفة مواقعهم على سطح الكرة الأرضية من خلال مراقبة ورصد النجوم؟

إنهم بحاجة إلى تقويم مُعد من قبل علماء الفلك العاملين في المرصد الفلكي، وذلك من أجل التنبؤ بدقة بالمكان الذي ستكون فيه الأجرام السماوية ساعة بساعة ودقيقة بدقيقة وثانية بثانية على مدار العام.

يحتاجون كذلك إلى وسيلة لمعرفة الوقت في المرصد الذي كان نقطة مرجعية لبيانات الاجرام السماوية المدرجة في ذلك التقويم،

يحتاج الملاحون أيضاً إلى أداة قياس الزاوية، آلة السدس على سبيل المثال، لقياس زاوية ارتفاع الجرم السماوي فوق خط مرجعي، والذي يكون في العادة خط الافق.

أخيرا، يحتاجون إلى الخرائط المرسومة والمُعدة مسبقاً حتى يتمكن الملاحون من تحديد مواقعهم في خطوط الطول والعرض.

كيف يستخدم الملاحون النجوم، بما في ذلك الشمس والقمر والكواكب ليجدوا موقعهم؟

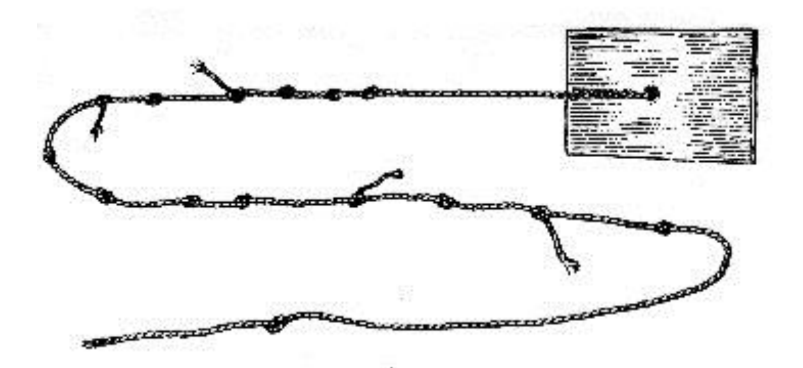
منذ ألفي عام على الأقل، عرف الملاحون كيفية تحديد خط العرض. من خلال القطب الشمالي، الذي يقع على خط عرض 90° درجة، فعند القطب الشمالي يقع النجم نجم الجدي Polaris (النجم الشمالي) في السماء مباشرة على ارتفاع 90° درجة، بينما يقع على الأفق بارتفاع الصفر عند خط الاستواء، بين خط الاستواء ونقطة القطب تعتبر زاوية ارتفاع الجدي فوق الأفق مقياسًا مباشرًا لخط العرض الجغرافي. فلو ذهبنا إلى الخارج الليلة ونظرنا إلى السماء الشمالية، فسنجد ارتفاع نجم الجدي يعادل خط العرض حيث نحن نقف في تلك اللحظة.

في العصور القديمة، كان الملاح الذي يخطط للإبحار بعيدًا عن الساحل يقيس ببساطة ارتفاع نجم الجدي عند مغادرته الميناء، لمعرفة خط عرض الميناء الرئيسي. ومن اجل العودة بعد رحلة طويلة، يحتاج فقط إلى الإبحار شمالًا

[1] محاضرة ألقيت في مدرج متحف الفيزياء من قبل د.بيتر ايفلاند، أكتوبر 2000.

أو جنوبًا حسب الاقتضاء، لجعل نجم الجدي Polaris على ارتفاع الميناء الرئيسي الذي غادر منه، ويمكنه الانحراف يسارًا أو يمينًا حسب الحاجة مع إبقاء ارتفاع نجم الجدي ثابت الزاوية.

عرف العرب كل شيء عن هذه التقنية. حيث استخدموا عرض مقياس أصابع اليد على ذراع ممدودة لرؤية الأفق وتقدير ارتفاع درجة نجم الجدي، وبالتالي استنتاج قيمة خط العرض. في السنوات اللاحقة، استخدموا أداة بسيطة تسمى الكمال Kamal للقيام بهذه العملية. والكمال عبارة عن قطعة مستطيلة من الخشب مثبت في مركزها خيط مقسم بطريقة عُقد مربوطة بشكل منتظم، حيث كان الملاح يثبت طرف الخيط بين أسنانه، ويمد القطعة الخشبية امامه بحيث يحاذي أحد اضلاعها خط الأفق بينما يحاذي الطرق المقابل منها نجم الجدي، ويمكن التحكم في ذلك من خلال زيادة أو تقليص طرف الخيط المثبت بين اسنانه، فتكون العقد المثبتة على امتداد الخيط بمثابة وحدات قياس مقدرة لقياس الارتفاع.



بمرور الوقت، بدأ الملاحون العرب في ضبط محل العقد على امتداد الخيط بحيث أصبحت المسافة الفاصلة بين عقدتين متتاليتين تعادل عصابة واحدة. كلمة عصابة هي كلمة عربية ترمز هنا لعرض الإصبع، وتعادل درجة واحدة و36′ دقيقة. حتى أنهم طوروا منشور للموانئ المختلفة موضحين فيه أي عقدة على أداة الكمال تتوافق مع ارتفاع نجم الجدي لكل ميناء قاموا بزيارته بشكل متكرر.

طوال العصور القديمة، طوّر الإغريق والعرب علم الفلك بشكل مطرد. ومنذ حوالي ألف عام في القرن العاشر، قدم العرب إلى أوروبا أداتين فلكيتين مهمتين هما الربع المجيّب والإسطرلاب.

كلمة اسطرلاب Astrolabe ذات أصل يوناني، إذ أنها ترجع إلى الكلمة astrolabos المأخوذة من astron وتعني نجما، والمقطع الثاني من كلمة lambanein وتعني أخذ أو تناول.

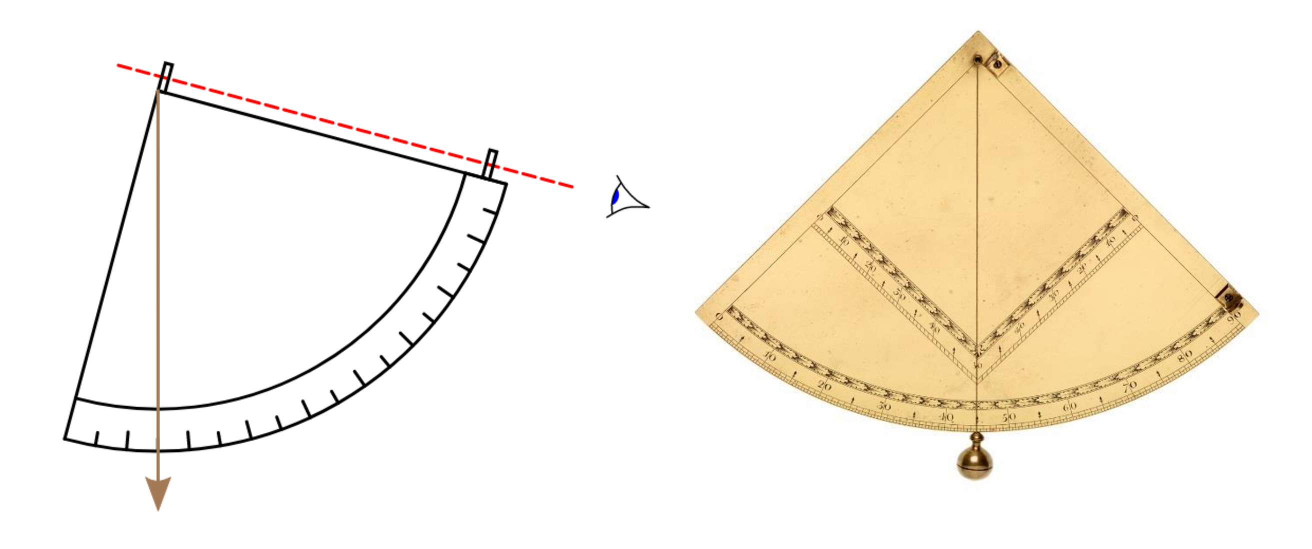
تم استخدام الاسطرلاب لمعرفة وقت شروق وغروب الشمس، وارتفاع الشمس والنجوم والكواكب. والأهم من ذلك، أنه استخدم في تحديد اتجاه القبلة ومواقيت الصلاة.

كان الإسطرلاب الفلكي[1] الجميل والمعقد والمكلف بالنسبة للإسطرلاب البحري الأكثر بساطة وسهولة في الاستخدام.





بعد ذلك ظهر الربع المجيّب Quadrant، الذي كان عبارة عن ربع دائرة مصنوعة من الخشب أو النحاس حيث استخدام على نطاق واسع في الملاحة حوالي عام 1450، على الرغم من أن استخدامه يمكن إرجاعه إلى القرن الثاني عشر على الأقل.



[1] صورة اسطرلاب عربي (مكتبة قطر الوطنية)

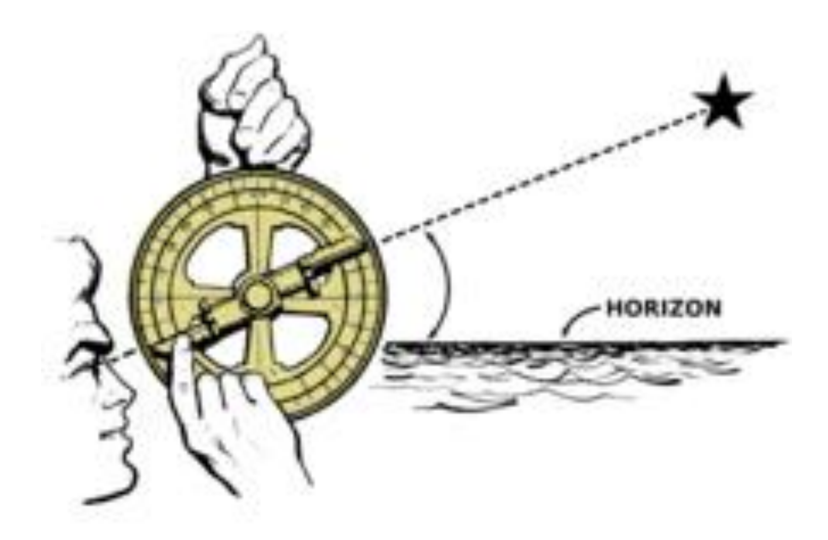
الصورة السابقة لربع نحاسي يمتد مقياسه حتى 90° درجة، وينقسم إلى درجات كاملة. ويعمل الشاقول خطًا مرجعيًا رأسيًا على مقياس التدريج. كان الربع أداة مشهورة لدى المستكشفين البرتغاليين. وما تراه في الصورة هو نسخة طبق الأصل من النوع الذي ربما استخدمه كولومبوس في رحلاته إلى العالم الجديد. كان كولومبوس يحدد ارتفاع نجم الجدي في ربعه المجيب، كما كان يربط البحار العربي عقدة في خيط الكمال، وقد أصبح بإمكان الملاح أن يسجل الارتفاع بطريقة كمية مقدرة بالدرجات القوسية.

خلال القرن الرابع عشر الميلادي، كان المستكشفون البرتغاليون يسافرون جنوبًا على طول ساحل إفريقيا بحثًا عن طريق إلى الشرق. وعندما كانوا يقتربون من خط الاستواء متجهين جنوباً، يختفي نجم الجدي تحت الأفق. لذلك في البحار الجنوبية، كان على البحارة أن يكون لديهم طريقة مختلفة للعثور على خطوط العرض الخاصة بهم.

بحلول عام 1480، اكتشف علماء الفلك البرتغاليون كيفية تحديد خط العرض باستخدام موضع الشمس أثناء تحركها شمال وجنوب خط الاستواء مع المواسم، وهو ما نسميه اليوم "درجة الميل". بعبارات بسيطة، يمكن للملاح تحديد خط العرض، باستخدام الربع المجيب بأخذ ارتفاع الشمس عند وصولها إلى أعلى ارتفاع لها عند وقت الظهيرة، ثم إجراء عملية حسابية بسيطة باستخدام ميل الشمس شمال أو جنوب خط الاستواء حسب التاريخ واليوم من السنة، ومن خلال ذلك يمكنهم معرفة خط العرض الخاص بهم.

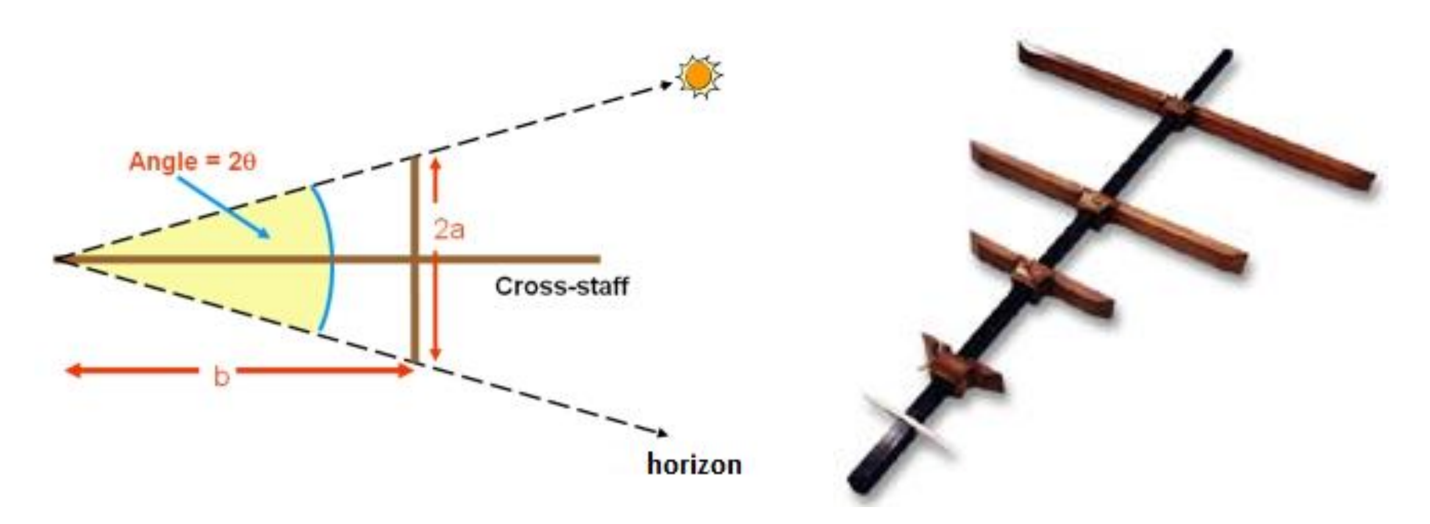
كان يعتبر الربع المجيب خطوة هامة في تقدم علم الملاحة السماوية البحرية. كما كانت طريقة عقد الكمال العربي، قدم الربع مقياسًا كميًا بالدرجات لارتفاع نجم الجدي والشمس، وربط هذا الرقم بخط العرض على سطح الأرض. ولكن على الرغم من كل فائدته، كان للربع المجيب مشكله تكمن في صعوبة إبقائه ثابتاً تمامًا في المستوى المطلوب وسط الأمواج العالية والطقس العاصف. وكان من المستحيل ببساطة منع الريح من دفع الشاقول بعيدًا عن مقياس التدريج الخاص بالربع المجيب، وقد جاء الحل مع الإسطرلاب البحري.

كان الإسطرلاب البحري نسخة مبسطة من الإسطرلاب الفلكي العربي الأكثر تفصيلاً، والذي ذكرناه سابقاً. تم التخلص من جميع المقاييس المعقدة، ولم يتبق سوى مقياس دائري بسيط محدد بالدرجات. يتضمن مؤشر قابل للحركة، ويتم الرصد من خلال تثبيت الأداة على مستوى العين، وتوجيه المؤشر باتجاه الجرم السماوي، ومن ثم قراءة ارتفاع النجم من النقطة التي يتقاطع فيها رأس المؤشر مع مقياس التدريج.



من أجل رصد الشمس، صمم الإسطرلاب حتى يتم تعليقه بشكل حر، وتم تعديل المؤشر بحيث يمر شعاع من ضوء الشمس عبر الفتحة الموجودة على الطرف العلوي للمؤشر ويسقط بدقة على الفتحة الأخرى الموجودة على الطرف السفلى للمؤشر، وقد كان الإسطرلاب البحري شائعًا لأكثر من 200 عام بسبب كونه موثوقًا وسهل الاستخدام على متن السفينة في ظل الظروف الصعبة في كثير من الأحيان.

كانت الخطوة التالية في تطور أدوات الملاحة السماوية هي أداة العصا المتقاطعة Cross-Staff، ومن المثير للاهتمام أن مبدأ عمله كان هو نفسه مبدأ عمل أداة الكمال. حيث تنزلق القطعة الرأسية (العارضة)، على طول العصا بحيث يمكن رؤية النجم على الحافة العلوية للعارضة بينما يكون الأفق محاذيًا للحافة السفلية منها.



كتب عالم الرياضيات ابن سينا عن هذه الأداة في القرن الحادي عشر. وربما وصل هذا المفهوم إلى أوروبا عندما كتب ليفي بن جيرسون Levi ben Gerson، الذي كان يعمل في المدرسة الإسبانية في الكاتالونية عام 1342، عن آلة تسمى (بالستيلا) balestilla التي وصفها بأنها مصنوعة من "عصا مربعة الزاوية" مع عارضة منزلقة.

تم استخدام أداة العصا المتقاطعة لتحديد ارتفاع نجم الجدي. حيث يتم رفع الذراع العرضية إلى عين المستخدم بيد واحدة، مع الإمساك بالعصا في اليد الأخرى بحيث يبدو الشخص مثل رامي السهام وهو يستهدف النجم.

كان لأداة العصا المتقاطعة قطعتان فقط، بمرور الوقت أصبحت أكثر تفصيلاً. فبعد عام 1650، أصبح هناك أربع عارضات بأطوال مختلفة. تتوافق كل عارضة مع المقياس الموجود على أحد الجوانب الأربعة للعصا. وتم تحديد هذه المقاييس بالدرجات حتى °90 درجة. وخلال الاستخدام العملي كان الملاح يستعين بعارضة واحدة فقط في كل مرة.

تتمثل المشكلة الرئيسية في العارضة المتقاطعة هي أن الراصد كان عليه أن ينظر في اتجاهين مختلفين في وقت واحد حيث كان ينظر إلى خط الأفق على طول الجزء السفلي من العارضة، وفي نفس الوقت كان ينظر للجرم السماوي المطلوب رصدة على طول الجزء العلوي من العارضة.

في القرن السابع عشر كانت أداة المقياس الخلفي Back staff أو كما تعرف باسم رباعي ديفيس واحدة من أكثر أدوات الرصد شعبية. تصور الكابتن الإنجليزي جون ديفيس هذه الأداة أثناء رحلاته البحرية، حيث اخترعها ووصفها في كتابه أسرار البحار عام 1594. وقد أطلق عليها اسم رباعي لأنها يمكن أن تقيس حتى °90 درجة بمعنى ربع دائرة.



يحدد الراصد ارتفاع الشمس من خلال جعل الشمس في ظهره، ومراقبة الظل الذي تلقيه الريشة العلوية على ريشة الأفق لتحديد ارتفاعها عن مستوى خط الافق، ظلت أداة رباعي ديفيس مشهورة ومستخدمة لأكثر من 150 عامًا، حتى استخدم في صناعتها أدوات أكثر تطوراً تعتمد على بصريات الانعكاس المزدوج من خلال المرايا.

كانت إحدى المزايا الرئيسية لأداة رباعي ديفيس هو أن الراصد كان عليه أن ينظر في اتجاه واحد فقط لأخذ الرصدة، وهذا بخلاف ما كان عليه العمل مع استخدام أداة العصا المتقاطعة.

المشكلة في هذه الاداة هي أنه كان من الصعب إن لم يكن من المستحيل رؤية القمر أو الكواكب أو النجوم. وهكذا، في نهاية القرن السابع عشر وحتى القرن الثامن عشر الميلادي، كان صانعو الأدوات الأكثر إبداعًا يفكرون الأنظمة البصرية القائمة على المرايا والمنشورات التي يمكن استخدامها لمراقبة الأجرام السماوية في الليل.

حدث التطور بشكل مستقل وفي نفس الوقت تقريبًا بواسطة جون هادلي John Hadley في إنجلترا، وتوماس جودفري Thomas Godfrey صانع زجاج من فيلادلفيا، حوالي عام 1731. حيث عملوا على فكرة أساسية تتمثل في استخدام مرآتين لصنع أداة عاكسة مضاعفة، وكان الثمن نتاج هذه الفكرة.



كيف تعمل هذه الأداة؟ أمسك الأداة بشكل عمودي ووجهها نحو الجسم السماوي. شاهد الأفق من خلال الجزء الشفاف النافذ من مرآة الأفق. ثم اضبط ذراع المؤشر حتى تظهر صورة الشمس أو النجم، التي انعكست أولاً بمرآة المؤشر، وثانيًا عن طريق الجزء العاكس من مرآة الأفق، حتى يستقر الجرم السماوي على خط الأفق. ويمكن قراءة ارتفاع الجسم السماوي من المقياس الموجود على قوس إطار الجهاز.

صُنعت ثمن هادلي العاكسة المزدوجة الأولى من صفائح صلبة من النحاس الأصفر. حيث كانت ثقيلة مقاومة للرياح. بينما تلك المصنوعة من الخشب كانت الأخف وزناً بحيث يمكن جعلها أكبر حجماً، مع سهولة تقسيم وتجزئة المقاييس بدقة، ومع مقاومة أقل للرياح.

رأينا كيف تمكن الملاحين من العثور على خطوط العرض لعدة قرون، لكن السفن والطواقم والبضائع الثمينة فقدت في البحر نتيجة الحوادث البحرية والتعرض للمخاطر الناتجة عن عدم امكانيتهم في تحديد مواقعهم بالشكل المناسب، لأنه كان من المستحيل تحديد خط الطول بدرجة عالية من الدقة. فطوال القرن السابع عشر وحتى القرن الثامن عشر، كانت الجهود مستمرة لتطوير تقنيات حديثة لتحديد خط الطول. وقد كان العنصر المفقود هو طريقة لقياس الوقت بدقة. حيث أصبح صانعو الساعات مشغولين باختراع أجهزة ميكانيكية دقيقة لحساب الوقت بينما كان علماء الفلك يروجون لطريقة رصد سماوية تسمى "المسافات القمرية".

في أوائل القرن الثامن عشر، طور علماء الفلك طريقة للتنبؤ بالمسافة الزاوية بين القمر والشمس أو الكواكب أو النجوم المختارة. باستخدام هذه التقنية، يمكن للملاح في البحر قياس الزاوية بين القمر والجرم السماوي الآخر، وحساب الوقت الذي سيكون فيه القمر والجرم بالضبط عند تلك المسافة الزاوية. ومقارنة ذلك مع الوقت في المرصد المرجعي، وبمعرفة الوقت الصحيح، يمكن للملاح تحديد خط الطول.

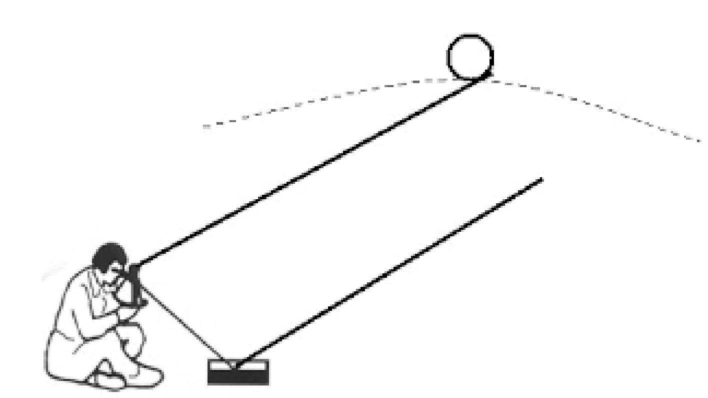
كما أنه عندما تمر الشمس عبر خط الزوال الخاص بالراصد، يكون التوقيت الشمسي المحلي هو 1200 ظهرًا ويُقارن هذا التوقيت بتوقيت غرينتش. فإذا علمنا أن كل °15 درجة من خط الطول تعادل ساعة واحدة من الوقت، فهذا يعطينا خط الطول شرق أو غرب خط طول غرينتش المرجعي.

كانت طريقة المسافة القمرية لمعرفة الوقت لا تزال مستخدمة حتى أوائل القرن العشرين عندما تم استبدالها أخيرًا بالزمن بالتلغراف الراديوي.

كما نعلم فإن أداة الثمن تقيس زوايا تصل إلى °90 درجة، وهو مناسب بشكل مثالي لرصد الأجرام السماوية فوق الأفق. لكن هناك حاجة إلى نطاق زاوية أكبر لرصد المسافة القمرية. كان من السهل تكبير هذا الثمن (ثمن الدائرة)، إلى السدس (سدس الدائرة)، التي يمكن أن تقيس حتى °120 درجة، وهكذا ظهرت أداة السدس Sextant، حيث أنتج جون بيرد John Bird أول آلة سدس في عام 1759. حيث كان الإطار مصنوع من الخشب وبمقياس من العاج. كانت الأداة كبيرة وثقيلة لدرجة أنها تحتاج إلى دعامة لتثبيتها. وكان التحدي هو إنتاج إطارات سداسية خفيفة الوزن ومقاومة منخفضة للرياح وبأقل تغيير، وقد تم تحقيق ذلك المطلب بصناعة سداسيات أخف وزناً وأكثر دقة، وتميز بعضها بجمالية خاصة.



كانت مشكلة العثور على موقعك عندما لا تستطيع رؤية الأفق لأخذ رصدة للشمس أو النجوم بمثابة تحدٍ للمستكشفين والراصدين العاملين على اليابسة. في أوائل ثلاثينيات القرن الثامن عشر، بدأ صانعو الأدوات في تطوير آفاق اصطناعية لاستخدامها مع الربع المجيب. بالطبع، لا يمكن للمستكشفين الذين يعملون على اليابسة استخدام افق البحر، لذا كانوا بحاجة إلى أفق اصطناعي لإنشاء خط مرجعي لقياس ارتفاع الأجرام السماوية.



الأفق الصناعي عبارة عن وعاء يتم ملؤه بسائل حيث تتمتع السوائل بميزة كونها ذاتية التسوية فيكون سطح السائل موازياً للأفق، كما يعمل على انعكاس صورة الجرم السماوي على سطحه المستوي، وهكذا تم استخدام الأفق الصناعي في الرصد باستخدام أداة السدس عوضاً عن افق البحر، كما تم تزويد مناظير السدس بعد ذلك بميزان تسوية من أجل تلبية احتياجات الرصد المختلفة، حيث لم تقتصر عملية الأرصاد في البحر وعلى اليابسة فقط بل توسعت لتستخدم على متن الطائرات كذلك، وبالطبع كان للحروب العالمية تأثير قوي على هذه الصناعة. فقد أعطت دفعة في تحسين التصميمات على أداة السدس حتى ظهرت بأشكال مختلفة ومتنوعة تعمل بنفس المبدأ الأساسي للسدس.

استخدمت الرحلات الفضائية المبكرة آلة سدس خاصة مصممة لهذا الغرض. ففي الفضاء البعيد لا يوجد شيء مثل "أفقي" أو "عمودي". بدلاً من ذلك، تم تصميم الأداة لقياس الزاوية بين حواف الأرض أو الزاوية بين الأجرام السماوية لتحديد موقع المركبة الفضائية في الفضاء. ولكن بعد ذلك، أصبحت التقنيات الإلكترونية الحديثة لتحديد المواقع في الفضاء هي المعيار.

إذاً مرة أخرى، أين نحن؟

اليوم سيخبرنا نظام تحديد المواقع العالمي الصغير هذا، أو جهاز استقبال GPS على الفور وبدقة كبيرة. بدلاً من قياس زوايا الأجرام السماوية فوق الأفق، فهو يحسب موقعنا عن طريق قياس الوقت الذي تستغرقه الإشارات الراديوية للوصول من ثلاثة أو أربعة من الأقمار الصناعية العديدة التي صنعها الإنسان، والموجودة في مواقع معروفة في مدار محدد حول الكرة الأرضية.



نستطيع القول وبكثير من العاطفة بأن تلك الأدوات المحمولة باليد، والتي كنا نستخدمها لرصد النجوم سرعان ما أصبحت قديمة الطراز، فقد عفا عليها الزمن بسبب نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). بالرغم من أنه لا يزال هناك عدد غير قليل من الملاحين والراصدين الذين يرفضون التخلي عن تقويمهم البحري، والساعات الخاص بهم، وجهاز السدس الخاص بهم من أجل هذه التقنيات الإلكترونية الجديدة المتشابكة.

ربما هناك لمسة سحرية ما، في رصد النجوم، وتعيين الوقت، وقراءة التقويم وإجراء الحسابات لمعرفة مكانك.

آلة السدس البحري

عبارة عن أداة بصرية تستخدم لقياس الزوايا، وقد استمدت اسمها بسبب قوس التدريج الخاص بها والذي يعادل سدس الدائرة، ولكونها صنعت بمبدأ الانعكاس المزدوج يمكنها من الناحية العملية قياس الزوايا حتى °120. وقد صنعت بشكل أساسي من أجل استخدامها في البحر لأغراض الملاحة، ولقياس الزوايا الرأسية والزوايا الأفقية وزوايا ارتفاع الاجرام السماوية عن مستوى الأفق، وجاءت السدس كتطوير مباشر لأداة أخرى سابقة لها ألا وهي آلة الثُمن والتي تقيس الزوايا حتى °90، والتي كانت مناسبة بشكل مثالي لرصد الاجرام السماوية فوق الأفق، ولكن كانت الحاجة إلى مدى زاوية قياس أكبر لرصد المسافات الزاوية الأفقية بين الاجرام السماوية من أجل حساب وتحديد خطوط الطول الجغرافية. وبذلك جاءت مسألة تكبير ثُمن الدائرة إلى سُدس الدائرة في القرن الثامن عشر على يد صانع الأدوات الرياضية البريطاني جون بيرد (1709–1776).

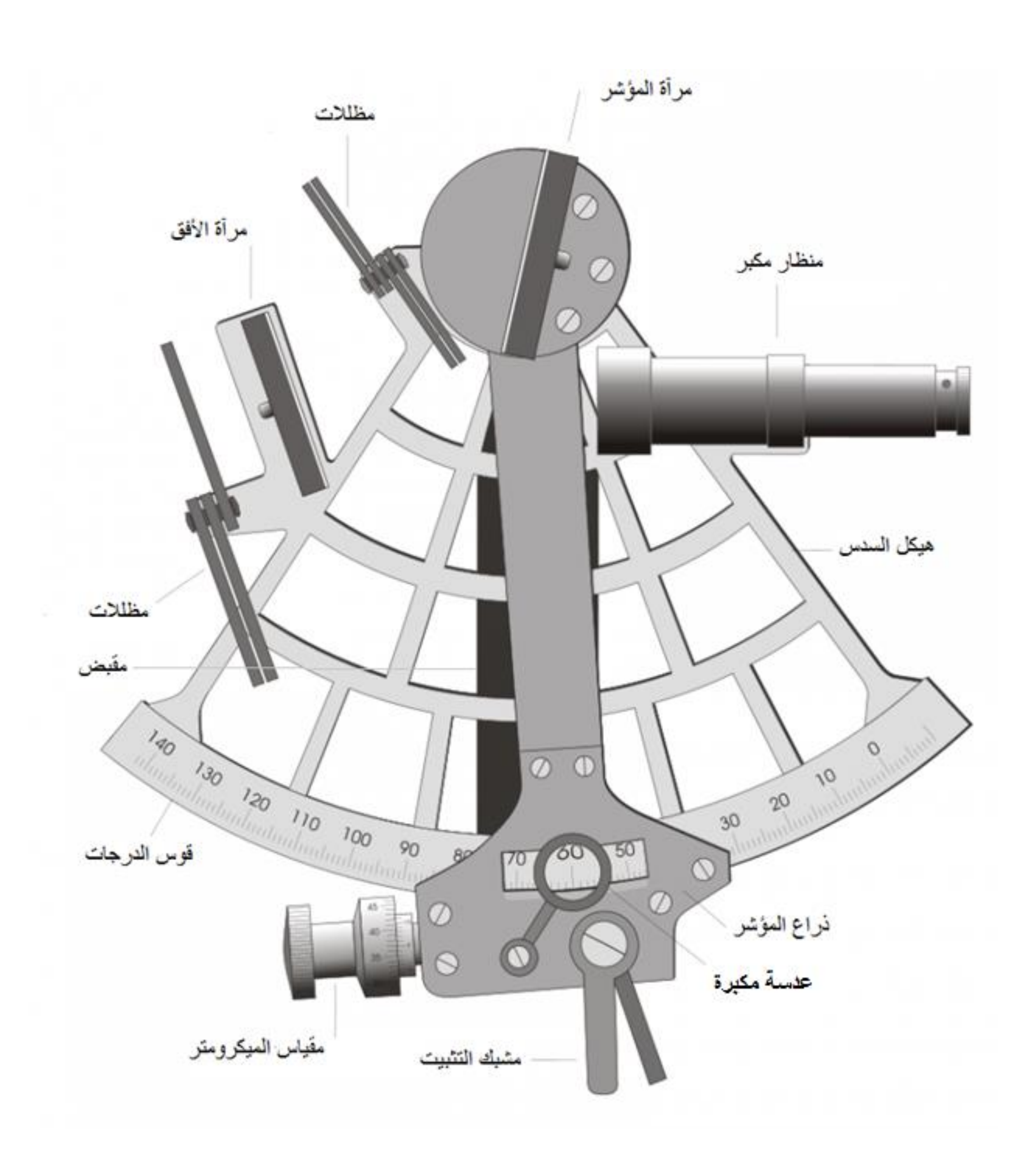


آلة سدس من القرن الثامن عشر



آلة سدس حديثة

الأجزاء الرئيسية لآلة السدس



المنظار المكبر: عبارة عن تلسكوب بصري يكبّر ويقرّب الأهداف المرصودة، وهو مثبت على هيكل السدس بواسطة مسمار تثبيت قابل للفك.

مرآة المؤشر: عبارة عن مرآة كاملة عاكسة مثبتة عمودياً مستوى هيكل السدس عند مركز دائرة القوس مباشرة، وهي تتحرك بتحرك ذراع المؤشر، ولها مسمار ضبط عند جانبها الآخر.

مرآة الأفق: وهي عبارة عن مرآة نصفها عاكس ونصفها الآخر شفاف نافذ يسمح من خلاله بالرؤية، ومثبتة عمودياً على مستوى هيكل السدس، وهي موازية لمرآة المؤشر عندما تكون علامة المؤشر على قراءة الصفر درجة، ولها مسمارين ضبط عند جانبها الآخر.

المظللات: عبارة عن مجموعة حواجز زجاجية أو بلاستيكية ملونة تهدف إلى تقليل وهج الضوء عند النظر إلى قرص الشمس، مثبتة أمام مرآة المؤشر وكذلك أمام مرآة الأفق، ويمكن التحكم فيها بالإزالة أو الإضافة.

المقبض: ماسك أو مقبض يدوي يتيح للراصد أن يمسك الآلة سواء بالوضع الرأسي أو الأفقي عند العمل بها.

قوس التدريج: قوس مدرج بالدرجات من 5°- إلى 130° قد يزيد قليلاً أو ينقص بحسب نوع آلة السدس، ويستخدم لقراءة درجة الزوايا المقاسة بالدرجات.

مقياس الميكرومتر: لولب مدرج قابل للدوران يدوياً يستخدم لقراءة الدقائق القوسية وأجزائها، ويعمل عمل الورنيّة.

مشبك التثبيت: عبارة عن مشبك يتم التحكم به يدوياً لتحريك ذراع المؤشر على طول قوس التدريج، وهو يسمح بتثبيت أو إعتاق حركة ذراع المؤشر.

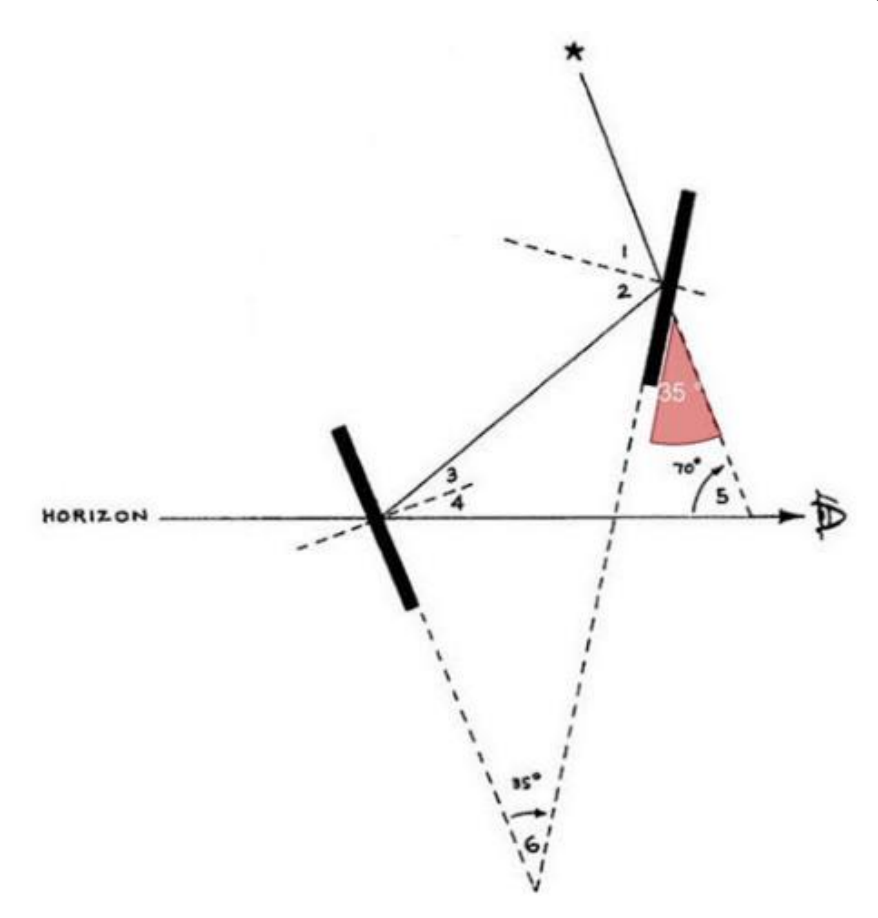
عدسة مكبرة: عبارة عن عدسة تعمل على تكبير قراءة كلا من الدرجات والدقائق عند النظر من خلالها.

ذراع المؤشر: عبارة عن ذراع مركزه دائرة قوس التدريج من ناحية، وعلامة المؤشر من الناحية الأخرى والتي تتحرك على محيط قوس التدريج.

هيكل السدس: وهو عبارة عن جسم آلة السدس وإطارها الذي تجمع عليه بقية الأجزاء.

فكرة عمل آلة السدس

تعمل آلة السدس وفق القانون البصري الذي ينص على أنه إذا شوهد جسم بفعل الانعكاس المتكرر من مرآتين عموديتين على السطح نفسه، فالمسافة الزاوية بين الجسم وصورته تكون ضعف الزاوية بين سطحي المرآتين، ويقيس مؤشر السدس الزاوية بين المرآتين.



أخطاء السدس البحري

تنقسم أخطاء السدس البحري إلى أخطاء لا يمكن ضبطها، وهي: -

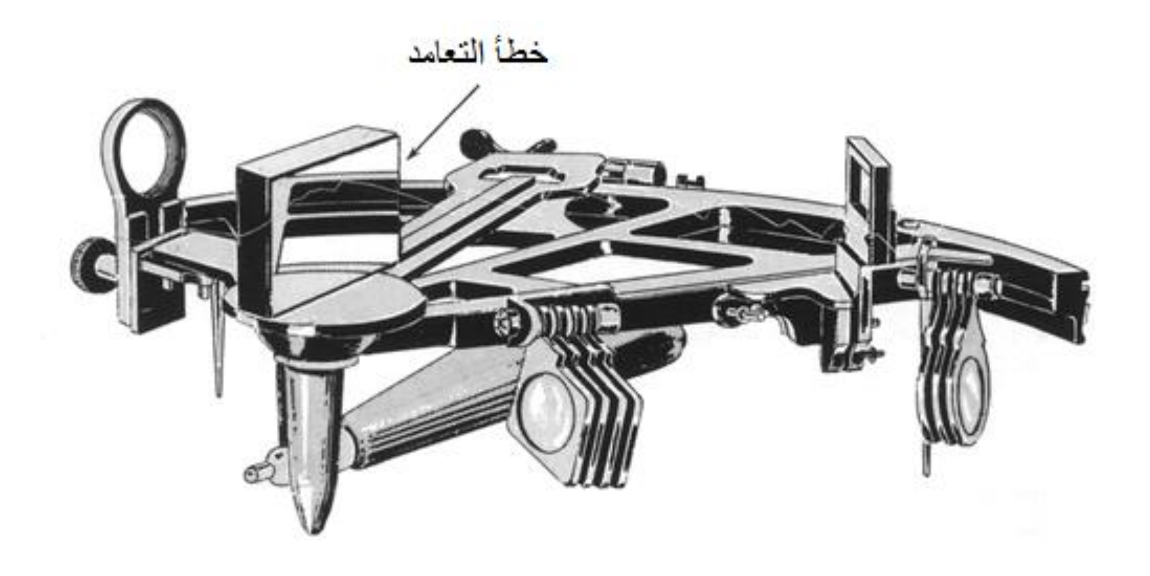
- **خطأ في مقياس التدريج: بسبب التدرج غير الدقيق للمقياس على القوس أو الميكرومتر.**
- **خطأ في المظللات: بسبب عدم تطابق أسطح المظللات الملونة مع بعضهما البعض تمامًا.**
- **خطأ التمركز: عدم تتطابق محور ذراع المؤشر مع مركز الدائرة التي يكون القوس جزءًا منها.**
- **خطأ بصري: قد يكون ناتجًا عن أخطاء منشوريه في المرآة أو انحرافات في عدسات التلسكوب.**

الأخطاء الغير قابلة للتصحيح خارجة عن سيطرتك. لإنها تأتي في الأساس من عملية تصنيع السدس، لذا تعتمد كليًا على جودة آلة السدس الذي تستخدمها، ومن المفترض أن يخبرك المصنعون بقيمة خطأ هذا الجهاز، الذي يمثل إجمالي كل هذه الأخطاء الغير قابلة للتصحيح، وفي العادة ستجد هناك بطاقة معايرة في صندوق السدس.

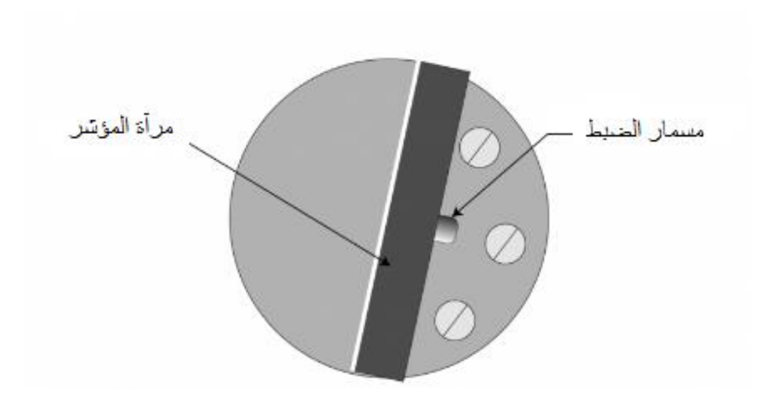
وأخطاء أخرى يمكن ضبطها وتصحيحها، ويجب على الراصد معالجة هذه الأخطاء قبل الشروع في استخدام السدس البحري، ويكون ذلك من خلال إزالة أسباب وجودها، وتقليلها إلى الحد الأدنى، ولا بد من الالتزام بالتسلسل التالي في ضبط أخطاء السدس: -

- خطأ التعامد

سبب هذا الخطأ هو عدم تعامد مستوى مرآة المؤشر على مستوى هيكل السدس، ويمكن اكتشاف هذا الخطأ عن طريق مسك أو وضع السدس بحيث تكون مرآة الأفق في جهتك بينما يكون قوس التدريج بعيداً عنك في الجهة الأخرى ثم ضع مؤشر الذراع تقريباً عند منتصف التدريج بين الدرجة 35° والدرجة 40°، وانظر إلى مستوى قوس التدريج من خلال مرآة المؤشر. فإن شاهدت قوس التدريج وصورته المنعكسة والممتدة في مرآة المؤشر على نفس المستوى تماماً فلا وجود لخطأ التعامد، بينما إن شاهدت قوس التدريج وصورته المنعكسة والممتدة في مرآة المؤشر ليستا على نفس المستوى بحيث تكون إلى الأعلى أو الأسفل فهذا يدل على وجود خطأ التعامد.

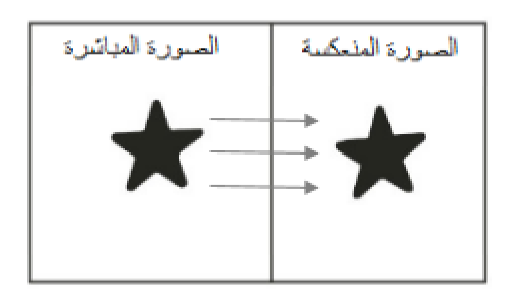


يتم ضبط هذا الخطأ عن طريق تدوير مسمار الضبط الموجود خلف مرآة المؤشر وضبطه بحيث يصبح مستوى قوس التدريج وصورته المنعكسة والممتدة في مرآة المؤشر على نفس المستوى تماماً.

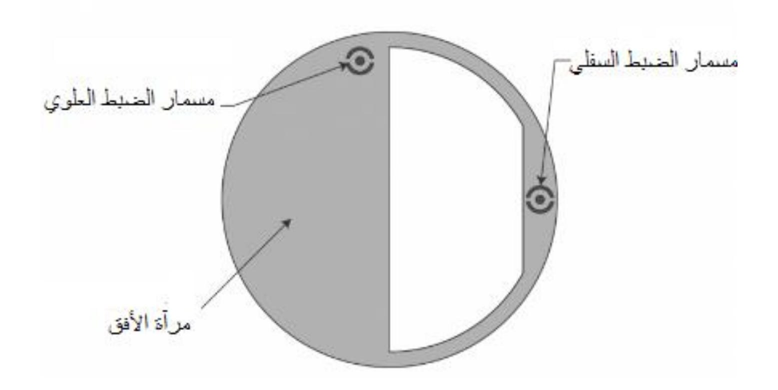


- **الخطأ الجانبي**

سبب هذا الخطأ هو عدم تعامد مستوى مرآة الأفق على مستوى هيكل السدس، ويمكن اكتشاف هذا الخطأ عن طريق مسك آلة السدس رأسياً بعد وضع مؤشر الذرع ومقياس الميكرومتر على الصفر تماماً، والنظر ليلاً من خلال المنظار المكبّر إلى نجم معين. فإن شاهدت صورة النجم المنعكسة مزاحة بشكل جانبي إلى اليمين أو اليسار عن صورة النجم المباشرة فهذا يعني وجود الخطأ الجانبي، ويمكن استخدام الشمس نهاراً لهذا الغرض.

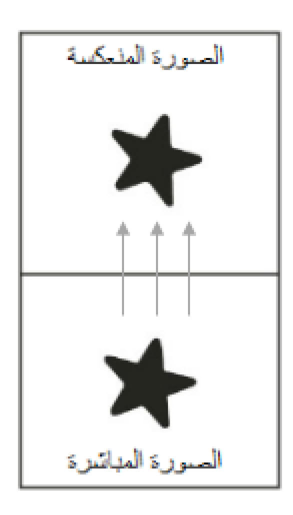


يتم ضبط هذا الخطأ عن طريق تدوير مسمار الضبط السفلي الموجود خلف مرآة الأفق وضبطه بحيث تصبح صورة النجم المنعكسة مطابقة لصورة النجم المباشرة تماماً.



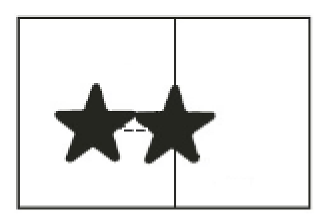
- **خطأ المؤشر**

سبب هذا الخطأ هو عدم توازي مستوى مرآة الأفق مع مستوى مرآة المؤشر عندما تكون آلة السدس على صفر التدريج، ويمكن اكتشاف هذا الخطأ عن طريق مسك آلة السدس رأسياً بعد وضع مؤشر الذرع ومقياس الميكرومتر على الصفر تماماً، والنظر ليلاً من خلال المنظار المكبّر إلى نجم معين أو الشمس نهاراً، فإن شاهدت صورة النجم المنعكسة مزاحة بشكل رأسي إلى الأعلى أو الأسفل عن صورة النجم المباشرة فهذا يعني وجود خطأ المؤشر.

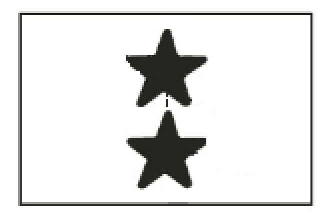


يتم ضبط هذا الخطأ عن طريق تدوير مسمار الضبط العلوي الموجود خلف مرآة الأفق أثناء النظر إلى النجم، وضبطه بحيث تصبح صورة النجم المنعكسة مطابقة لصورة النجم المباشرة تماماً.

بعد الانتهاء من تصحيح خطأ المؤشر من الممكن أن تلاحظ عودة الخطأ الجانبي بشكل طفيف، وذلك بسبب ارتباط كل من مسمار الضبط العلوي والسفلي بنفس مرآة الأفق، ولذلك يتوجب عليك إعادة ضبط الخطأ الجانبي مرة ثانية بالأسلوب الذي ذكرناه سابقاً.



مما قد يتسبب بطبيعة الحال بحدوث خطأ المؤشر، والذي في حال حدوثة لا نعود لتصحيحه هذه المرة إنما نتعامل معه بطريقة إيجاد تصحيح المؤشر Index Error حيث يصبح خطأ متعلق بآلة السدس نفسها، ونقوم بإدراجه ضمن تصحيحات الارتفاعات السدسية التي يتم قياسها.



إيجاد تصحيح المؤشر

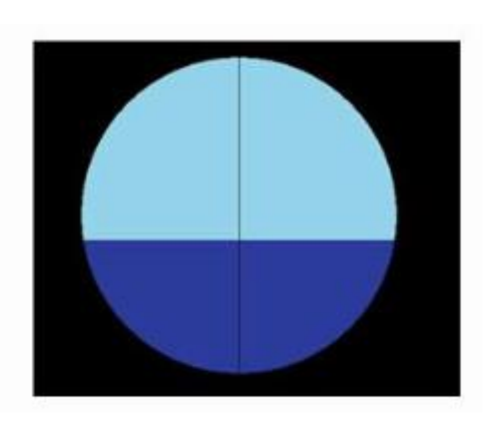
أولاً: باستخدام نجم معين

يتم إيجاد تصحيح المؤشر Index Error بعد الانتهاء من إزالة جميع الأخطاء السابقة بالترتيب الذي جاء ذكره، ولمعرفة قيمة خطأ المؤشر قم بمسك آلة السدس رأسياً بعد وضع مؤشر الذرع ومقياس الميكرومتر على الصفر تماماً، وانظر من خلال المنظار المكبّر باتجاه نجم معين. فإن شاهدت صورة النجم المنعكسة مزاحة بشكل رأسي إلى الأعلى أو الأسفل عن صورة النجم المباشرة قم بإدارة مقياس الميكرومتر ببطيء حتى تنطبق الصورتين تماماً، وتكون قراءة الميكرومتر هي قيمة خطأ المؤشر I.E بالدقائق القوسية بحيث: -

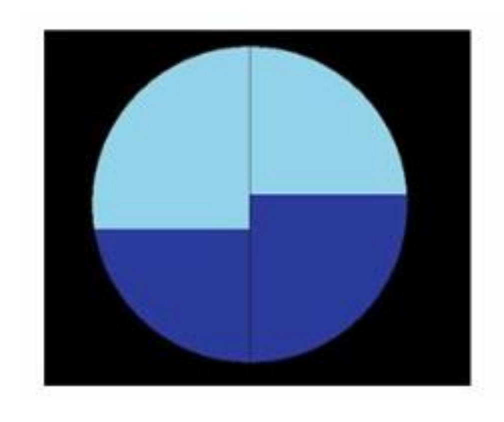
يكون الخطأ موجباً (+) إذا كانت القراءة داخل قوس التدريج On Arc، ويجب طرحة من الارتفاع السدسي، بينما يكون الخطأ سالباً (-) إذا كانت القراءة خارج قوس التدريج Off Arc، ويجب اضافته على الارتفاع السدسي.

ثانياً: باستخدام افق البحر

قم بمسك آلة السدس رأسياً بعد وضع مؤشر الذرع ومقياس الميكرومتر على الصفر تماماً، وانظر من خلال المنظار المكبّر باتجاه افق البحر. فإن شاهدت صورة خط الافق المنعكسة مزاحة بشكل رأسي إلى الأعلى أو الأسفل عن صورة خط الافق المباشرة قم بإدارة مقياس الميكرومتر ببطيء حتى ينطبق خطي الأفق تماماً، وتكون قراءة الميكرومتر هي قيمة خطأ المؤشر I.E بالدقائق القوسية بحسب القاعدة السابقة.



لا يوجد خطأ المؤشر



يوجد خطأ المؤشر

ثالثاً: باستخدام قرص الشمس

لمعرفة قيمة تصحيح المؤشر Index Error باستخدام قرص الشمس قم بمسك آلة السدس رأسياً بعد وضع مؤشر الذرع ومقياس الميكرومتر على الصفر تماماً، ووضع المظللات المناسبة قبل النظر باتجاه قرص الشمس من خلال المنظار المكبّر.

ثم قم بإدارة مقياس الميكرومتر باتجاه داخل قوس التدريج On Arc حتى تلامس الحافة العليا لصورة الشمس المنعكسة الحافة السفلى لصورة الشمس المباشرة، وقم بتسجيل قراءة دقائق الميكرومتر باسم On Arc. ثم عد وانظر إلى قرص الشمس مره أخرى وقم بإدارة مقياس الميكرومتر باتجاه خارج قوس التدريج Off Arc حتى تلامس الحافة السفلى لصورة الشمس المنعكسة الحافة العليا لصورة الشمس المباشرة، وقم بقراءة دقائق الميكرومتر واحذف منها ′60، وسجل ما تبقى باسم Off Arc.

طبق العلاقة للحصول على قيمة خطأ المؤشر بالدقائق القوسية حيث يكون خطأ المؤشر I.E موجباً (+) داخل قوس التدريج On Arc أو سالباً (-) خارج قوس التدريج Off Arc بحسب القيمة الأكبر بينهما، ويتم أخذ قيمة هذا التصحيح في الاعتبار عند جميع القراءات التي تتم بواسطة آلة السدس هذه.

$$I.E = \frac{OnArc - OffArc}{2}$$

Sun

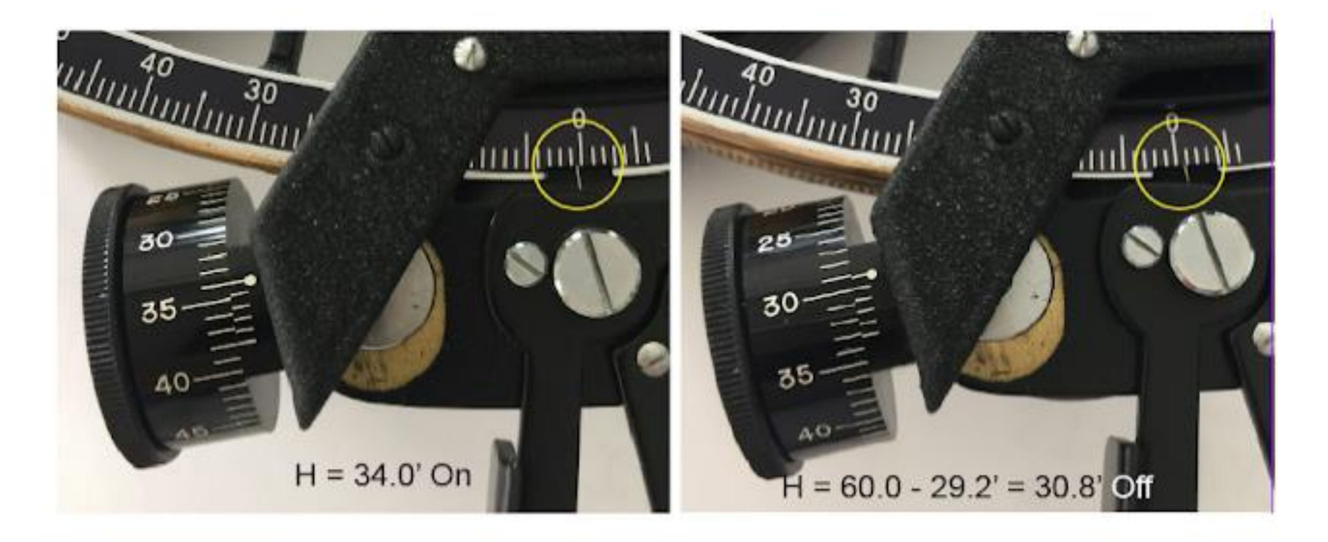
Sun reflected

On Arc

Sun reflected

Sun

Off Arc

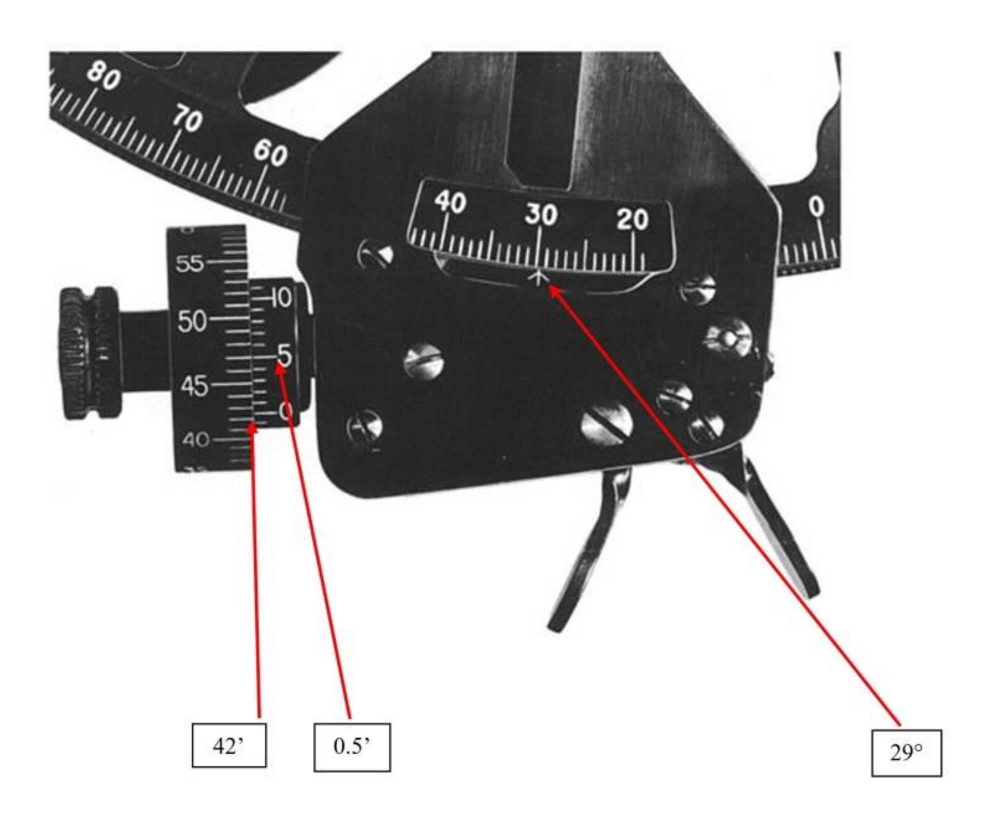


وللتأكد من صحة رصدات التصحيح يتم حساب قيمة نصف قطر قرص الشمس S.D من خلال المعادلة أدناه، ومقارنتها بقيمة نصف قطر قرص الشمس المستخرجة من التقويم البحري بحيث إذا جاءت القيمتين متعادلتين فهذا يعني صحة الرصدات التي أُخذت، وعليه تكون قيمة تصحيح خطأ المؤشر I.E صحيحة.

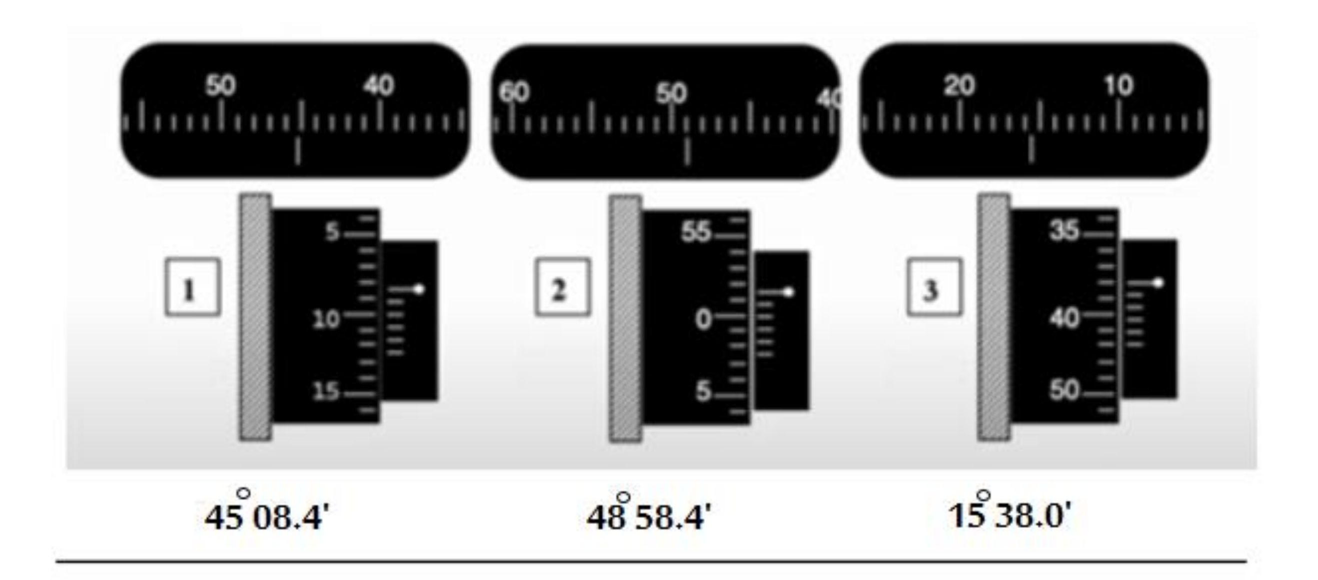
$$S.D = \frac{OnArc + OffArc}{4}$$

قراءة السدس

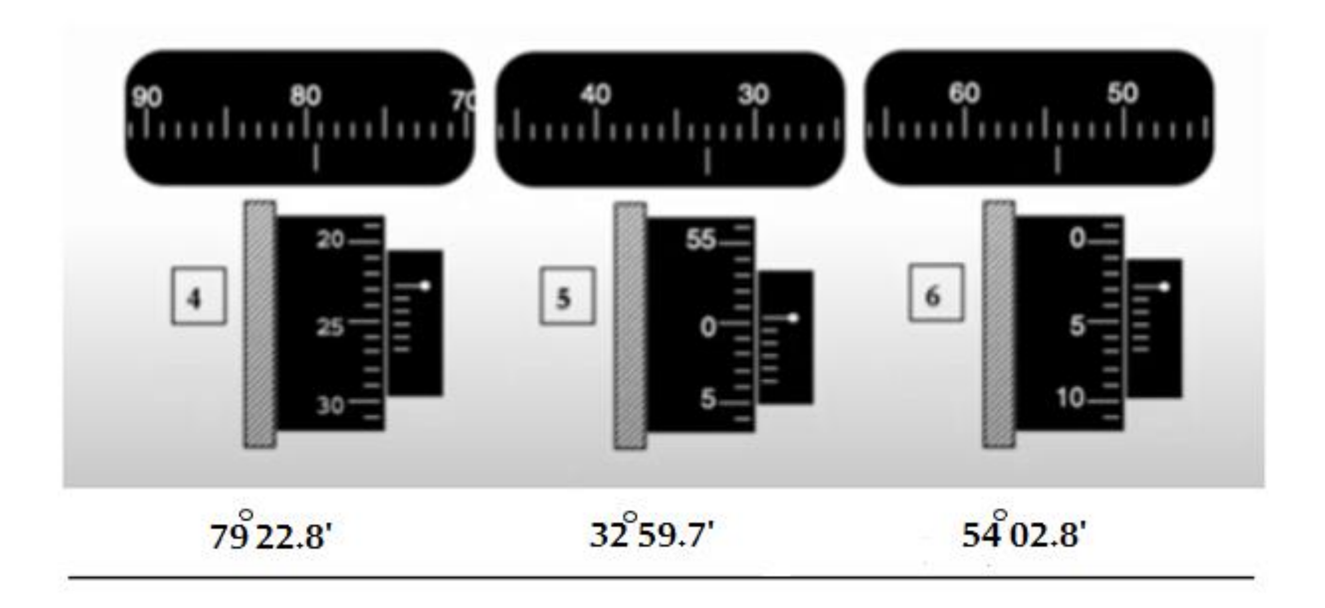
عند تحديد الزاوية المقاسة بواسطة آلة السدس البحري تتم قراءة الدرجات أولاً من خلال ملاحظة موضع السهم الموجود على طرف ذراع المؤشر الواقع على مقياس الدرجات الخاصة بقوس التدريج بينما تتم قراءة الدقائق من خلال ملاحظة موضع علامة الصفر الموجودة على مقياس الميكرومتر الثابت وما يقابلها من قيمة للدقائق القوسية على المقياس المتحرك، وأخيراً تتم قراءة أجزاء الدقائق من خلال تحديد موضع تطابق أي علامة من علامات مقياس الميكرومتر المتحرك مع إحدى علامات قراءات أجزاء الدقائق المقابلة لها على المقياس الثابت.



قراءة السدس ′42.5 °29



50 40
60 50 40
20 10
1
5
10
15
2
55
0
5
3
35
40
50
45° 08.4'
48° 58.4'
15° 38.0'



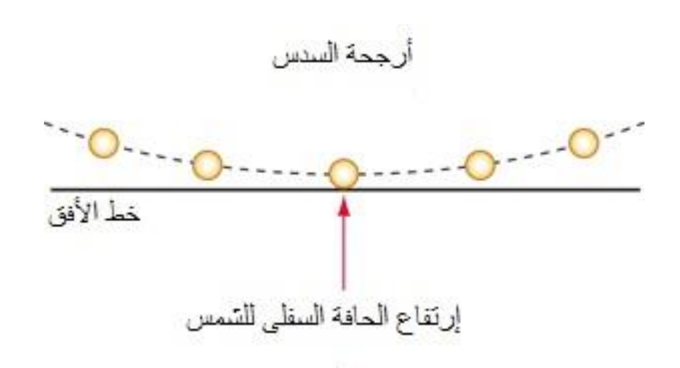
90 80 70
40 30
60 50
4
20
25
30
5
55
0
5
6
0
5
10
79° 22.8'
32° 59.7'
54° 02.8'

قياس ارتفاع جرم سماوي

لقياس ارتفاع جرم سماوي باستخدام آلة السدس البحري تأكد أولاً من ضبط قوس التدريج ومقياس الميكرومتر على القيمة صفر ثم امسك السدس بشكل رأسي من خلال المقبض، ووجه المنظار المكبّر باتجاه الجرم السماوي المطلوب قياس درجة ارتفاعه عن مستوى الأفق ثم قم بالضغط على مشبك التثبيت لتحرير حركة ذراع المؤشر حيث تكون الحركة إلى داخل قوس التدريج حتى تشاهد صورة الجرم السماوي المنعكسة قد بدأت بمفارقة صورته المباشرة بحركة رأسية نحو الأسفل. استمر بتحريك ذراع المؤشر حتى تجعل صورة الجرم المنعكسة محاذية لخط الأفق، وأخيراً قم بضبط هذه المحاذاة باستخدام مقياس الميكرومتر واقرأ قيمة زاوية ارتفاع الجرم بالطريقة الصحيحة.

- **يجب إزالة جميع أخطاء آلة السدس قبل استخدامها.**
- **احرص على استخدام المظللات عند الرغبة في رصد ارتفاع الشمس.**
- **أثناء حمل السدس حاول أن تباعد بين قدميك وأن تحافظ على ثباتك.**
- **أثناء رصد ارتفاع الجرم السماوي قم بأرجحه السدس بحيث تصنع صورة الجرم المنعكسة قوس وهمي على خط الأفق، وقم بأخذ قراءة ارتفاع أدنى نقطة من هذا القوس.**
- **ترصد ارتفاعات النجوم والكواكب خلال فترة الشفق الصباحي والمسائي حيث يكون خط الأفق ظاهراً.**
- **قد يعطي ضوء القمر في فترات الليل رؤية وهمية لخط الأفق.**
- **عند الرغبة في استخدام آلة السدس على اليابسة يجب الاستعانة بالأفق الصناعي.**
- **يجب تسجيل وقت الرصد تزامناً مع قراءة ارتفاع الجرم وإضافة التصحيحات اللازمة للارتفاع السدسي.**





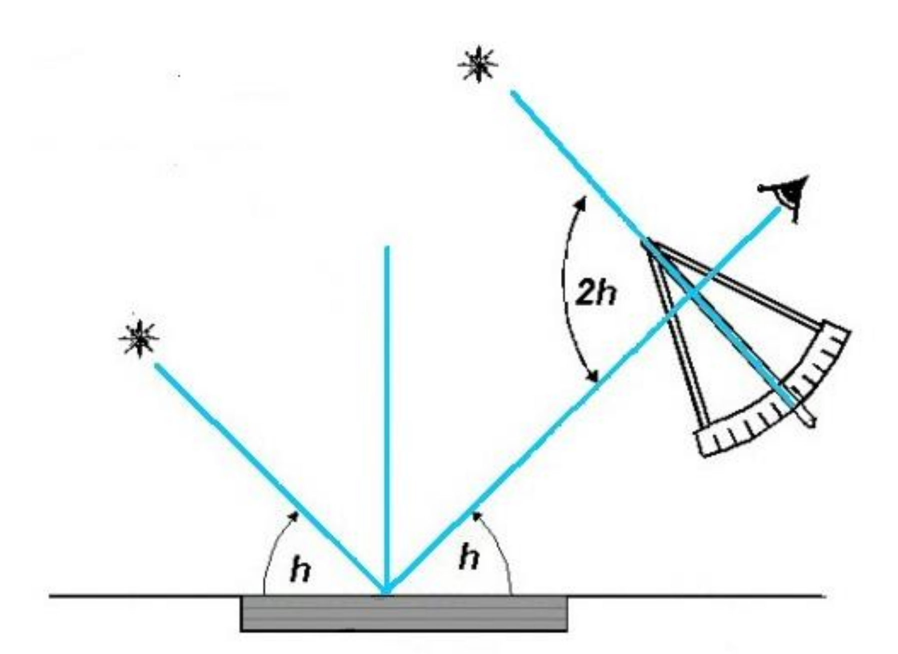
العناية بآلة السدس البحري

نظرًا لأن السدس أداة مهمة جدًا في الملاحة، وهي أداة دقيقة وحساسة. يجب التعامل معها بعناية. خلاف ذلك، من السهل جدًا إتلافها مما قد يؤدي إلى حدوث أخطاء في القراءات اللاحقة.

- تجنب حمل السدس من ذراع المؤشر أو قوس التدريج أو من المنظار المكبّر أو من أي جزء آخر غير هيكل السدس أو المقبض المخصص لذلك.
- تأكد من نظافة كل من مرآة المؤشر والأفق والمظللات والمنظار المكبّر، وقم بمسحها بقطعة قماش ناعمة لا تسبب إحداث خدوش فيها.
- حافظ على نظافة جسم الآلة بشكل عام من الغبار والأتربة، واستخدم الفرشاة الخاصة لتنظيفها.
- قم بتخزين السدس داخل صندوقها الخاص بعد وضعها بالشكل الصحيح، وتأكد مع تثبيت ذراع المؤشر في موضعه قبل إغلاق الصندوق.
- احفظ السدس بعيداً عن أشعة الشمس والحرارة والأماكن الرطبة.
- قم بتزييت الأجزاء المتحركة في آلة السدس باستخدام الزيت الخاص.
- لا تستخدم مواد كيميائية في تنظيف آلة السدس والتي قد تتسبب في محو إشارات القياس والعلامات الأخرى المكتوبة على هيكل الآلة.
- تجنب سقوط السدس عند حملها، وذلك باستخدام حبل التعليق على الرقبة.
- تجنب التعامل بشدة مع مسامير الضبط ومسمار تثبيت المنظار المكبّر، وكذلك مع مقياس الميكرومتر.
- تأكد من الضغط بشكل صحيح على مشبك التثبيت لضمان تحرير حركة ذراع المؤشر بالكامل وعدم احتكاكه بقوس التدريج وتروس الحركة.
- تحتوي بعض أنواع السدس البحري على لمبة إضاءة صغيرة تستخدم لتسهيل أخذ القراءات على قوس التدريج والميكرومتر، ويجب إزالة البطاريات الخاصة بهذه اللمبة في حال الرغبة بتخزين آلة السدس.

الأفق الصناعي

تستخدم آلة السدس في رصد ارتفاع الاجرام السماوية بالنسبة إلى أفق البحر، ويمكن استخدامها على اليابسة حيث يكون الأفق غير منتظم بحيث لا يمكن استخدامه كخط مرجعي، وذلك بالاستعانة بما يسمى الأفق الصناعي، وهو في أبسط صوره عبارة عن وعاء يحتوي على سائل يشكل سطح السائل مرآة أفقية تماماً ما لم يتشوه نتيجة الاهتزازات أو الرياح. يعمل الأفق الصناعي على إظهار صورة الجرم السماوي على سطح السائل وباستخدام السدس يتم إنزال صورة الجرم المنعكسة حتى تتطابق الصورتين معاً لتكون قراءة الزاوية على السدس تعادل ضعف ارتفاع الجرم السماوي، وتعتبر هذه الطريقة دقيقة، وهي الاختيار المثالي لممارسة رصد ارتفاع الاجرام السماوية على اليابسة.



عند استخدام الأفق الصناعي لرصد ارتفاع الجرم السماوي باستخدام آلة السدس يتم أولاً تصحيح الارتفاع السدسي من قيمة خطأ المؤشر لتصبح قيمة الارتفاع المرصود تعادل نصف قيمة الارتفاع السدسي، ولا تكون هناك حاجة لتصحيح خطأ الانخفاض الناتج عن ارتفاع الراصد عن مستوى سطح البحر حيث أن رصد الارتفاع باستخدام الأفق الصناعي يكون نسبة إلى الأفق الحسي Sensible Horizon الموازي للأفق الحقيقي Rational Horizon فيكون الارتفاع المرصود هو الارتفاع الظاهري، الذي يطرح منه مقدار تصحيح الانكسار ويضاف إليه تصحيح اختلاف المنظر للحصول على قيمة الارتفاع الحقيقي للجرم السماوي دون الحاجة كذلك لتصحيح نصف القطر.



من الممكن صناعة هذا الأفق الاصطناعي ببساطة من وعاء من وعاء مناسب وألواح بلاستيكية، حيث يتم تعيين الألواح بزاوية 45 درجة لتشكل خيمة تستخدم لحماية سطح السائل المملوء في الوعاء من الرياح التي تسبب تعكر واهتزاز سطحه. يمكن اختيار الألواح البلاستيكية الملونة للتخفيف من وهج الشمس المنعكس على سطح السائل كما يمكن استبدالها بألواح بلاستيكية شفافة في حال رصد النجوم والكواكب.

يملأ الوعاء بسائل لخلق سطح عاكس حيث تتمتع السوائل بميزة كونها ذاتية التسوية، فيمكنك استخدام زيت المحرك المستهلك أو دبس السكر أو ما يماثل هذه السوائل للحفاظ على سكونه، ومشاهدة انعكاس صور الاجرام السماوية على سطحه، وهذا ما يجعها خيارات أفضل من الماء الذي لا بأس باستخدامه مع مراعاة ضرورة حماية سطحه من تأثير الرياح.

نظرًا لأن السائل سيكون متوازيًا تمامًا مع الأفق الحقيقي Rational Horizon، ويمكن استخدامه كمستوى عاكس دون الحاجة لتصحيح الانخفاض.

جرب ذلك، وضع وعاءً مملوء بالماء خارج المنزل وألقِ نظرة من خلاله على قرص الشمس.

خطوات الرصد باستخدام الأفق الصناعي

- قم بتوجيه آلة السدس إلى وعاء السائل حيث ترى انعكاس الشمس.
- حرك ذراع المؤشر حتى تجلب الشمس الحقيقية إلى صورتها المنعكسة باستخدام مرآة المؤشر.
- باستخدام مقياس الميكرومتر، اجمع الصورتين معًا (بدون تصحيحات نصف القطر أيضًا) وخذ قراءتك.
- هذا يعطيك قراءة ما يقرب من ضعف الارتفاع الحقيقي.
- ستحتاج بلا شك إلى وضع فلاتر إضافية فوق مرآة الأفق لتعتيم صورة الشمس لحماية عينك، كما لو كنت تنظر إلى الأفق عادةً.
- قم بتصحيح القراءة بأخذ نصف الارتفاع الظاهري بقسمته على اثنين،
- أضف تصحيح الانكسار للحصول على الارتفاع الحقيقي لمركز قرص الشمس.

نلاحظ أن قراءة الزاوية على السدس باستخدام الأفق الصناعي تعادل ضعف ارتفاع الجرم السماوي، فيكون أقصى ارتفاع للجرم يمكنك رصده بهذا الأسلوب يساوي نصف الحد الأقصى لتدرج القوس على آلة السدس الخاص بك. لذلك خطط لرصد الاجرام السماوية قبل ارتفاع البعض منها عالياً في السماء.

لدواعي الدقة في الرصد، يمكنك ترك الشمس وصورتها المنعكسة على وعاء السائل تتلامسان طرفًا إلى طرف، فإن كان الرصد لما قبل الزوال، دع الصورة السفلية ترتفع باتجاه الصورة المنعكسة ثم خذ الوقت لحظة تلامسهما، فستكون قد رصدت الحافة العليا للشمس ويستوجب حينها مراعاة طرح قيمة نصف قطر قرص الشمس.

أما في حالة كان الرصد لما بعد الزوال، اترك الصورة العلوية تنخفض باتجاه الصورة المنعكسة ثم خذ الوقت لحظة تلامسهما، فستكون قد رصدت الحافة السفلى للشمس ويستوجب حينها مراعاة اضافة قيمة نصف قطر قرص الشمس.

القواعد الأساسية للتقويم البحري

إن الغرض الرئيسي من التقويم البحري يتمثل في توفير البيانات الفلكية اللازمة للتطبيق العملي للملاحة السماوية. كما يمكن استخدام هذا التقويم في تطبيقات فلكية آخري تتطلب توافر تلك البيانات والعناصر التي يأتي على رأسها بيانات الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec لجميع الأجرام السماوية الملاحية في كل ثانية من الوقت العالمي UT أو وقت غرينتش المتوسط GMT على مدار العام.

يحتوي التقويم البحري على شروحات وتوضيحات مفصلة في صفحاته الأخيرة بخصوص كيفية قراءة البيانات اليومية المجدولة، وكيفية استخدام جداول الاستيفاء الخاصة للأوقات المتوسطة بين الساعات الصحيحة المتمثلة في الدقائق والثواني الزمنية، والتي تعرف كذلك بجداول الزيادة والتصحيح. يتم جدولة البيانات في كل سطر لكل ساعة من ساعات اليوم بالتوقيت العالمي UT على مدار أيام السنة، وتسمى هذه الجداول بجداول الصفحات اليومية. بينما يتم جدولة بيانات الدقائق والثواني بين الساعات باستخدام جداول الاستيفاء الموجودة في نهاية صفحات التقويم.

كل صفحة على اليسار في التقويم البحري تشبه جميع الصفحات الموجودة على اليسار، ونفس الشيء بالنسبة لجميع الصفحات الموجودة على اليمين تشبه جميع الصفحات الموجودة على اليمين. يتم عرض ثلاثة أيام من البيانات في كل زوج من الصفحات اليمنى واليسرى. حيث تحتوي الصفحة اليسرى على بيانات مجدولة لقيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec لكل من نقطة الاعتدال الربيعي Aries، وكوكب الزهرة، والمريخ، والمشتري، وزحل، و 57 نجمة ملاحية مختارة. بينما الصفحة اليمنى فهي تحتوي بيانات مماثلة للشمس والقمر. كما تحتوي على مواقيت شروق الشمس وغروبها وتوسطها بالتوقيت المتوسط المحلي LMT عند خط الزوال الرئيسي، وكذلك للقمر.

تحتوي بقية البيانات على مواقيت الشفق المدني والملاحي ومواقيت توسط الكواكب ونقطة الاعتدال الربيعي، ومعادلة الوقت، ونصف قطر الشمس والقمر، ونتائج مختلفة ومتنوعة وبيانات تخطيطية، وجداول إضافية تحتوي على قائمة بالتوقيتات القياسية والتصحيحات اللازمة في أعمال الملاحة السماوية كتصحيحات الانخفاض، والانكسار، واختلاف المنظر، وجداول تصحيحات ارتفاع النجم القطبي، ومواقيت الكسوف والخسوف، وسنقوم هنا بعرض وشرح أهم هذه البيانات وأكثرها استخداماً.

التاريخ

نقطة الإعتدال الربيعي

194 — 2016 OCTOBER 3, 4, 5 (MON., TUES., WED.)

النجوم الملاحية المختارة

الزاوية الساعية النجمية

ميل النجم

اليوم — ساعات اليوم — اسم اليوم

الزاوية الساعية لغرينتش — درجة الميل

Day	UT (GMT) d h	ARIES GHA	VENUS −3.9 (كوكب الزهرة) GHA	VENUS Dec	MARS +0.1 (كوكب المريخ) GHA	MARS Dec	JUPITER −1.7 (كوكب المشتري) GHA	JUPITER Dec	SATURN +0.5 (كوكب زحل) GHA	SATURN Dec	STARS Name	SHA	Dec
		° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′		° ′	° ′
	3 00	12 07.7	153 13.8	S15 33.7	97 58.6	S25 45.5	187 02.5	S 1 00.5	121 40.5	S20 46.3	Acamar	315 16.4	S40 14.2
	01	27 10.1	168 13.3	34.7	112 59.2	45.4	202 04.5	00.7	136 42.8	46.4	Achernar	335 24.7	S57 09.1
	02	42 12.6			127 59.8	45.3	217 06.4	00.9	151 45.0	46.4	Acrux	173 07.3	S63 11.4
	03	57 15.1			143 00.4	. . 45.2	232 08.4	. . 01.1	166 47.3	. . 46.4	Adhara	255 10.8	S28 59.6
	04	72 17.5			158 01.0	45.2	247 10.4	01.4	181 49.6	46.5	Aldebaran	290 46.7	N16 32.4
	05	87 20.0	228 11.3	39.0	173 01.6	45.1	262 12.3	01.6	196 51.8	46.5			
	06	102 22.5	243 10.8	S15 40.0	188 02.2	S25 45.0	277 14.3	S 1 01.8	211 54.1	S20 46.5	Alioth	166 19.4	N55 52.3
	07	117 24.9	258 10.3	41.1	203 02.8	44.9	292 16.3	02.0	226 56.4	46.6	Alkaid	152 57.7	N49 14.0
	08	132 27.4			218 03.4	44.8	307 18.2	02.2	241 58.6	46.6	Al Na'ir	27 40.7	S46 52.8
M	09	147 29.9			233 04.0	. . 44.7	322 20.2	. . 02.4	257 00.9	. . 46.6	Alnilam	275 44.0	S 1 11.5
O	10	162 32.3	303 08.8	44.3	248 04.7	44.6	337 22.2	02.6	272 03.2	46.7	Alphard	217 54.1	S 8 43.8
N	11	177 34.8	318 08.3	45.3	263 05.3	44.6	352 24.1	02.8	287 05.4	46.7			
D	12	192 37.2	333 07.8	S15 46.4	278 05.9	S25 44.5	7 26.1	S 1 03.1	302 07.7	S20 46.7	Alphecca	126 09.4	N26 39.9
A	13	207 39.7	348 07.2	47.4	293 06.5	44.4	22 28.1	03.3	317 10.0	46.8	Alpheratz	357 40.8	N29 11.1
Y	14	222 42.2	3 06.7	48.5	308 07.1	44.3	37 30.1	03.5	332 12.2	46.8	Altair	62 06.0	N 8 55.1
	15	237 44.6	18 06.2	. . 49.5	323 07.7	. . 44.2	52 32.0	. . 03.7	347 14.5	. . 46.8	Ankaa	353 13.2	S42 12.9
	16	252 47.1	33 05.7	50.6	338 08.3	44.1	67 34.0	03.9	2 16.8	46.9	Antares	112 23.7	S26 27.9
	17	267 49.6	48 05.2	51.6	353 08.9	44.0	82 36.0	04.1	17 19.0	46.9			
	18	282 52.0	63 04.7	S15 52.7	8 09.5	S25 43.9	97 37.9	S 1 04.3	32 21.3	S20 46.9	Arcturus	145 54.1	N19 06.0
	19	297 54.5	78 04.2	53.7	23 10.1	43.9	112 39.9	04.5	47 23.5	47.0	Atria	107 23.8	S69 03.4
	20	312 57.0	93 03.7	54.8	38 10.7	43.8	127 41.9	04.8	62 25.8	47.0	Avior	234 17.3	S59 33.6
	21	327 59.4	108 03.2	. . 55.8	53 11.3	. . 43.7	142 43.8	. . 05.0	77 28.1	. . 47.0	Bellatrix	278 29.5	N 6 21.8
	22	343 01.9	123 02.7	56.9	68 12.0	43.6	157 45.8	05.2	92 30.3	47.1	Betelgeuse	270 58.8	N 7 24.5
	23	358 04.4	138 02.2	57.9	83 12.6	43.5	172 47.8	05.4	107 32.6	47.1			
	4 00	13 06.8	153 01.7	S15 59.0	98 13.2	S25 43.4	187 49.7	S 1 05.6	122 34.9	S20 47.1	Canopus	263 55.1	S52 42.1
	01	28 09.3	168 01.2	16 00.0	113 13.8	43.3	202 51.7	05.8	137 37.1	47.2	Capella	280 31.0	N46 00.5
	02	43 11.7	183 00.6	01.1	128 14.4	43.2	217 53.7	06.0	152 39.4	47.2	Deneb	49 29.7	N45 20.8
	03	58 14.2	198 00.1	. . 02.1	143 15.0	. . 43.1	232 55.6	. . 06.2	167 41.7	. . 47.2	Denebola	182 31.7	N14 28.8
	04	73 16.7	212 59.6	03.2	158 15.6	43.0	247 57.6	06.5	182 43.9	47.3	Diphda	348 53.4	S17 53.6
	05	88 19.1	227 59.1	04.2	173 16.2	42.9	262 59.6	06.7	197 46.2	47.3			
	06	103 21.6	242 58.6	S16 05.3	188 16.8	S25 42.9	278 01.5	S 1 06.9	212 48.4	S20 47.3	Dubhe	193 49.7	N61 39.6
	07	118 24.1	257 58.1	06.3	203 17.4	42.8	293 03.5	07.1	227 50.7	47.4	Elnath	278 09.7	N28 37.0
T	08	133 26.5	272 57.6	07.3	218 18.0	42.7	308 05.5	07.3	242 53.0	47.4	Eltanin	90 45.2	N51 29.7
U	09	148 29.0	287 57.1	. . 08.4	233 18.6	. . 42.6	323 07.4	. . 07.5	257 55.2	. . 47.4	Enif	33 44.7	N 9 57.4
E	10	163 31.5	302 56.5	09.4	248 19.2	42.5	338 09.4	07.7	272 57.5	47.4	Fomalhaut	15 21.3	S29 32.0
S	11	178 33.9	317 56.0	10.5	263 19.8	42.4	353 11.4	07.9	287 59.8	47.5			
D	12	193 36.4	332 55.5	S16 11.5	278 20.4	S25 42.3	8 13.4	S 1 08.2	303 02.0	S20 47.5	Gacrux	171 58.9	S57 12.2
A	13	208 38.9	347 55.0	12.5	293 21.0	42.2	23 15.3	08.4	318 04.3	47.5	Gienah	175 50.3	S17 37.9
Y	14	223 41.3	2 54.5	13.6	308 21.6	42.1	38 17.3	08.6	333 06.5	47.6	Hadar	148 45.2	S60 27.1
	15	238 43.8	17 54.0	. . 14.6	323 22.2	. . 42.0	53 19.3	. . 08.8	348 08.8	. . 47.6	Hamal	327 57.9	N23 32.4
	16	253 46.2	32 53.4	15.6	338 22.8	41.9	68 21.2	09.0	3 11.1	47.6	Kaus Aust.	83 40.9	S34 22.4
	17	268 48.7	47 52.9	16.7	353 23.4	41.8	83 23.2	09.2	18 13.3	47.7			
	18	283 51.2	62 52.4	S16 17.7	8 24.0	S25 41.7	98 25.2	S 1 09.4	33 15.6	S20 47.7	Kochab	137 21.3	N74 05.5
	19	298 53.6	77 51.9	18.7	23 24.6	41.6	113 27.1	09.6	48 17.8	47.7	Markab	13 35.8	N15 17.9
	20	313 56.1	92 51.4	19.8	38 25.2	41.5	128 29.1	09.9	63 20.1	47.8	Menkar	314 12.5	N 4 09.3
	21	328 58.6	107 50.8	. . 20.8	53 25.8	. . 41.4	143 31.1	. . 10.1	78 22.4	. . 47.8	Menkent	148 05.3	S36 26.9
	22	344 01.0	122 50.3	21.8	68 26.4	41.3	158 33.0	10.3	93 24.6	47.8	Miaplacidus	221 39.6	S69 47.0
	23	359 03.5	137 49.8	22.9	83 27.0	41.2	173 35.0	10.5	108 26.9	47.9			
	5 00	14 06.0	152 49.3	S16 23.9	98 27.6	S25 41.1	188 37.0	S 1 10.7	123 29.1	S20 47.9	Mirfak	308 36.7	N49 55.0
	01	29 08.4	167 48.8	24.9	113 28.2	41.0	203 38.9	10.9	138 31.4	47.9	Nunki	75 55.6	S26 16.4
	02	44 10.9	182 48.2	26.0	128 28.8	40.9	218 40.9	11.1	153 33.7	48.0	Peacock	53 15.6	S56 40.9
	03	59 13.3	197 47.7	. . 27.0	143 29.4	. . 40.8	233 42.9	. . 11.3	168 35.9	. . 48.0	Pollux	243 25.1	N27 58.9
	04	74 15.8	212 47.2	28.0	158 30.0	40.7	248 44.8	11.6	183 38.2	48.0	Procyon	244 57.5	N 5 10.8
	05	89 18.3	227 46.7	29.1	173 30.6	40.6	263 46.8	11.8	198 40.4	48.1			
	06	104 20.7	242 46.1	S16 30.1	188 31.2	S25 40.5	278 48.8	S 1 12.0	213 42.7	S20 48.1	Rasalhague	96 04.5	N12 33.3
W	07	119 23.2	257 45.6	31.1	203 31.8	40.4	293 50.8	12.2	228 45.0	48.1	Regulus	207 41.4	N11 53.1
E	08	134 25.7	272 45.1	32.1	218 32.4	40.3	308 52.7	12.4	243 47.2	48.2	Rigel	281 09.8	S 8 11.0
D	09	149 28.1	287 44.6	. . 33.2	233 33.0	. . 40.2	323 54.7	. . 12.6	258 49.5	. . 48.2	Rigil Kent.	139 49.2	S60 54.1
N	10	164 30.6	302 44.0	34.2	248 33.6	40.1	338 56.7	12.8	273 51.7	48.2	Sabik	102 10.1	S15 44.5
E	11	179 33.1	317 43.5	35.2	263 34.2	40.0	353 58.6	13.0	288 54.0	48.3			
S	12	194 35.5	332 43.0	S16 36.2	278 34.8	S25 39.9	9 00.6	S 1 13.3	303 56.3	S20 48.3	Schedar	349 37.3	N56 37.8
D	13	209 38.0	347 42.5	37.2	293 35.4	39.8	24 02.6	13.5	318 58.5	48.3	Shaula	96 19.0	S37 06.8
A	14	224 40.5	2 41.9	38.3	308 36.0	39.7	39 04.5	13.7	334 00.8	48.4	Sirius	258 31.8	S16 44.3
Y	15	239 42.9	17 41.4	. . 39.3	323 36.6	. . 39.6	54 06.5	. . 13.9	349 03.0	. . 48.4	Spica	158 29.2	S11 14.7
	16	254 45.4	32 40.9	40.3	338 37.2	39.5	69 08.5	14.1	4 05.3	48.4	Suhail	222 51.0	S43 29.8
	17	269 47.8	47 40.3	41.3	353 37.8	39.4	84 10.4	14.3	19 07.5	48.5			
	18	284 50.3	62 39.8	S16 42.3	8 38.4	S25 39.2	99 12.4	S 1 14.5	34 09.8	S20 48.5	Vega	80 37.5	N38 48.4
	19	299 52.8	77 39.3	43.4	23 39.0	39.1	114 14.4	14.7	49 12.1	48.5	Zuben'ubi	137 03.2	S16 06.4
	20	314 55.2	92 38.8	44.4	38 39.6	39.0	129 16.3	14.9	64 14.3	48.6		SHA	Mer. Pass.
	21	329 57.7	107 38.2	. . 45.4	53 40.2	. . 38.9	144 18.3	. . 15.2	79 16.6	. . 48.6		° ′	h m
	22	345 00.2	122 37.7	46.4	68 40.8	38.8	159 20.3	15.4	94 18.8	48.6	Venus	139 54.8	13 48
	23	0 02.6	137 37.2	47.4	83 41.4	38.7	174 22.3	15.6	109 21.1	48.7	Mars	85 06.3	17 26
	Mer. Pass.	h m 23 03.8	v −0.5	d 1.0	v 0.6	d 0.1	v 2.0	d 0.2	v 2.3	d 0.0	Jupiter	174 42.9	11 27
											Saturn	109 28.0	15 47

دليل تصحيح الزاوية الساعية لغرينتش

دليل تصحيح الميل

العبور الزوالي لخط الطول الرئيسي بالتوقيت المحلي المتوسط

اختلاف المنظر الافقي للقمر — الشفق المدني والملاحي — شروق الشمس — شروق القمر

2016 OCTOBER 3, 4, 5 (MON., TUES., WED.)

Day	UT h	SUN GHA ° ′	SUN Dec ° ′	MOON GHA ° ′	v ′	MOON Dec ° ′	d ′	HP ′
3 MONDAY	00	182 44.7	S 4 02.6	160 47.7	14.7	S 8 28.6	8.4	54.1
	01	197 44.9	03.5	175 21.4	14.6	8 37.0	8.4	54.1
	02	212 45.1	04.5	189 55.0	14.6	8 45.4	8.4	54.1
	03	227 45.3	. . 05.5	204 28.6	14.7	8 53.8	8.3	54.1
	04	242 45.5	06.4	219 02.3	14.5	9 02.1	8.3	54.1
	05	257 45.6	07.4	233 35.8	14.6	9 10.4	8.3	54.1
	06	272 45.8	S 4 08.4	248 09.4	14.6	S 9 18.7	8.2	54.1
	07	287 46.0	09.3	262 43.0	14.5	9 26.9	8.1	54.1
	08	302 46.2	10.3	277 16.5	14.6	9 35.0	8.1	54.1
	09	317 46.4	. . 11.3	291 50.1	14.5	9 43.1	8.1	54.1
	10	332 46.6	12.2	306 23.6	14.5	9 51.2	8.1	54.1
	11	347 46.8	13.2	320 57.1	14.5	9 59.3	7.9	54.1
	12	2 47.0	S 4 14.2	335 30.6	14.5	S10 07.2	8.0	54.0
	13	17 47.2	15.1	350 04.1	14.4	10 15.2	7.9	54.0
	14	32 47.4	16.1	4 37.5	14.4	10 23.1	7.8	54.0
	15	47 47.6	. . 17.1	19 10.9	14.5	10 30.9	7.9	54.0
	16	62 47.8	18.0	33 44.4	14.4	10 38.8	7.7	54.0
	17	77 48.0	19.0	48 17.8	14.3	10 46.5	7.7	54.0
	18	92 48.1	S 4 19.9	62 51.1	14.4	S10 54.2	7.7	54.0
	19	107 48.3	20.9	77 24.5	14.3	11 01.9	7.6	54.0
	20	122 48.5	21.9	91 57.8	14.4	11 09.5	7.6	54.0
	21	137 48.7	. . 22.8	106 31.2	14.3	11 17.1	7.5	54.0
	22	152 48.9	23.8	121 04.5	14.3	11 24.6	7.5	54.0
	23	167 49.1	24.8	135 37.8	14.2	11 32.1	7.4	54.0
4 TUESDAY	00	182 49.3	S 4 25.7	150 11.0	14.3	S11 39.5	7.4	54.0
	01	197 49.5	26.7	164 44.3	14.2	11 46.9	7.4	54.0
	02	212 49.7	27.7	179 17.5	14.2	11 54.3	7.2	54.0
	03	227 49.9	. . 28.6	193 50.7	14.1	12 01.5	7.3	54.0
	04	242 50.1	29.6	208 23.8	14.2	12 08.8	7.1	54.0
	05	257 50.2	30.5	222 57.0	14.1	12 15.9	7.1	54.0
	06	272 50.4	S 4 31.5	237 30.1	14.1	S12 23.0	7.1	54.0
	07	287 50.6	32.5	252 03.2	14.1	12 30.1	7.0	54.0
	08	302 50.8	33.4	266 36.3	14.1	12 37.1	7.0	54.0
	09	317 51.0	. . 34.4	281 09.4	14.0	12 44.1	6.9	54.0
	10	332 51.2	35.4	295 42.4	14.0	12 51.0	6.8	54.0
	11	347 51.4	36.3	310 15.4	14.0	12 57.8	6.8	54.0
	12	2 51.6	S 4 37.3	324 48.4	14.0	S13 04.6	6.8	54.0
	13	17 51.8	38.3	339 21.4	13.9	13 11.4	6.6	54.0
	14	32 51.9	39.2	353 54.3	13.9	13 18.0	6.7	54.0
	15	47 52.1	. . 40.2	8 27.2	13.9	13 24.7	6.5	54.0
	16	62 52.3	41.1	23 00.1	13.9	13 31.2	6.5	54.0
	17	77 52.5	42.1	37 33.0	13.8	13 37.7	6.5	54.0
	18	92 52.7	S 4 43.1	52 05.8	13.8	S13 44.2	6.4	54.0
	19	107 52.9	44.0	66 38.6	13.8	13 50.6	6.3	54.0
	20	122 53.1	45.0	81 11.4	13.8	13 56.9	6.3	54.0
	21	137 53.3	. . 45.9	95 44.2	13.7	14 03.2	6.2	54.0
	22	152 53.4	46.9	110 16.9	13.7	14 09.4	6.1	54.0
	23	167 53.6	47.9	124 49.6	13.7	14 15.5	6.1	54.0
5 WEDNESDAY	00	182 53.8	S 4 48.8	139 22.3	13.6	S14 21.6	6.1	54.0
	01	197 54.0	49.8	153 54.9	13.6	14 27.7	5.9	54.0
	02	212 54.2	50.8	168 27.5	13.6	14 33.6	5.9	54.0
	03	227 54.4	. . 51.7	183 00.1	13.6	14 39.5	5.9	54.0
	04	242 54.6	52.7	197 32.7	13.5	14 45.4	5.7	54.0
	05	257 54.8	53.6	212 05.2	13.6	14 51.1	5.7	54.0
	06	272 54.9	S 4 54.6	226 37.8	13.4	S14 56.8	5.7	54.0
	07	287 55.1	55.6	241 10.2	13.5	15 02.5	5.6	54.0
	08	302 55.3	56.5	255 42.7	13.4	15 08.1	5.5	54.0
	09	317 55.5	. . 57.5	270 15.1	13.4	15 13.6	5.4	54.0
	10	332 55.7	58.4	284 47.5	13.4	15 19.0	5.4	54.1
	11	347 55.9	4 59.4	299 19.9	13.3	15 24.4	5.3	54.1
	12	2 56.1	S 5 00.4	313 52.2	13.3	S15 29.7	5.3	54.1
	13	17 56.2	01.3	328 24.5	13.3	15 35.0	5.2	54.1
	14	32 56.4	02.3	342 56.8	13.3	15 40.2	5.1	54.1
	15	47 56.6	. . 03.2	357 29.1	13.2	15 45.3	5.0	54.1
	16	62 56.8	04.2	12 01.3	13.2	15 50.3	5.0	54.1
	17	77 57.0	05.2	26 33.5	13.1	15 55.3	4.9	54.1
	18	92 57.2	S 5 06.1	41 05.6	13.1	S16 00.2	4.9	54.1
	19	107 57.3	07.1	55 37.7	13.1	16 05.1	4.7	54.1
	20	122 57.5	08.0	70 09.8	13.1	16 09.8	4.7	54.1
	21	137 57.7	. . 09.0	84 41.9	13.1	16 14.5	4.6	54.1
	22	152 57.9	10.0	99 14.0	13.0	16 19.1	4.6	54.1
	23	167 58.1	10.9	113 46.0	12.9	S16 23.7	4.5	54.1
		SD 16.0	d 1.0	SD 14.7		14.7		14.7

Lat.	Twilight Naut. h m	Twilight Civil h m	Sunrise h m	Moonrise 3 h m	Moonrise 4 h m	Moonrise 5 h m	Moonrise 6 h m
N 72	04 06	05 27	06 34	09 44	11 23	13 06	15 01
N 70	04 16	05 28	06 29	09 28	10 57	12 26	13 52
68	04 24	05 29	06 25	09 15	10 38	11 59	13 16
66	04 30	05 30	06 21	09 04	10 23	11 39	12 50
64	04 35	05 31	06 18	08 56	10 10	11 22	12 30
62	04 40	05 32	06 16	08 48	10 00	11 09	12 14
60	04 43	05 32	06 13	08 42	09 51	10 57	12 01
N 58	04 47	05 32	06 11	08 36	09 43	10 48	11 49
56	04 49	05 33	06 10	08 31	09 36	10 39	11 39
54	04 52	05 33	06 08	08 26	09 30	10 31	11 30
52	04 54	05 33	06 06	08 22	09 24	10 25	11 22
50	04 55	05 33	06 05	08 19	09 19	10 18	11 15
45	04 59	05 33	06 02	08 11	09 08	10 05	11 00
N 40	05 01	05 32	06 00	08 04	09 00	09 54	10 48
35	05 03	05 32	05 57	07 58	08 52	09 45	10 37
30	05 04	05 31	05 55	07 53	08 45	09 37	10 28
20	05 04	05 30	05 52	07 45	08 34	09 23	10 12
N 10	05 03	05 27	05 48	07 37	08 24	09 11	09 58
0	05 01	05 25	05 45	07 30	08 14	08 59	09 46
S 10	04 56	05 21	05 42	07 23	08 05	08 48	09 33
20	04 51	05 16	05 38	07 16	07 55	08 36	09 19
30	04 42	05 10	05 34	07 08	07 44	08 22	09 03
35	04 36	05 06	05 32	07 03	07 37	08 14	08 54
40	04 30	05 02	05 29	06 57	07 30	08 05	08 44
45	04 21	04 56	05 26	06 51	07 22	07 55	08 32
S 50	04 10	04 49	05 22	06 44	07 11	07 42	08 17
52	04 04	04 46	05 20	06 40	07 07	07 36	08 10
54	03 58	04 42	05 18	06 36	07 01	07 30	08 03
56	03 51	04 38	05 16	06 32	06 56	07 23	07 54
58	03 44	04 33	05 13	06 28	06 49	07 14	07 45
S 60	03 34	04 28	05 10	06 22	06 42	07 05	07 34

Lat.	Sunset h m	Twilight Civil h m	Twilight Naut. h m	Moonset 3 h m	Moonset 4 h m	Moonset 5 h m	Moonset 6 h m
N 72	17 01	18 08	19 28	17 22	17 15	17 06	16 47
N 70	17 06	18 07	19 18	17 40	17 41	17 46	17 56
68	17 11	18 06	19 11	17 54	18 01	18 13	18 33
66	17 14	18 05	19 05	18 05	18 18	18 34	18 59
64	17 17	18 05	19 00	18 15	18 31	18 51	19 19
62	17 20	18 04	18 56	18 23	18 42	19 05	19 35
60	17 22	18 04	18 52	18 30	18 51	19 17	19 49
N 58	17 25	18 04	18 49	18 37	19 00	19 27	20 01
56	17 26	18 03	18 46	18 42	19 07	19 36	20 11
54	17 28	18 03	18 44	18 47	19 14	19 44	20 20
52	17 30	18 03	18 42	18 52	19 20	19 51	20 28
50	17 31	18 03	18 41	18 56	19 25	19 58	20 35
45	17 34	18 04	18 38	19 05	19 37	20 12	20 51
N 40	17 37	18 04	18 35	19 13	19 46	20 23	21 04
35	17 39	18 05	18 34	19 19	19 55	20 33	21 15
30	17 41	18 05	18 33	19 25	20 02	20 42	21 24
20	17 45	18 07	18 33	19 35	20 15	20 56	21 41
N 10	17 49	18 10	18 34	19 43	20 26	21 09	21 55
0	17 52	18 13	18 37	19 52	20 36	21 21	22 08
S 10	17 55	18 16	18 41	20 00	20 46	21 34	22 22
20	17 59	18 21	18 47	20 09	20 57	21 47	22 36
30	18 03	18 27	18 55	20 19	21 10	22 02	22 52
35	18 06	18 31	19 01	20 24	21 18	22 10	23 02
40	18 09	18 36	19 08	20 31	21 26	22 20	23 13
45	18 12	18 42	19 17	20 39	21 36	22 32	23 26
S 50	18 16	18 49	19 29	20 48	21 48	22 46	23 41
52	18 18	18 53	19 34	20 52	21 53	22 52	23 49
54	18 20	18 56	19 40	20 57	21 59	23 00	23 57
56	18 23	19 01	19 47	21 02	22 06	23 08	24 06
58	18 25	19 06	19 56	21 08	22 14	23 17	24 16
S 60	18 28	19 11	20 05	21 15	22 23	23 28	24 28

معادلة الوقت

Day	SUN Eqn. of Time 00^h m s	SUN Eqn. of Time 12^h m s	SUN Mer. Pass. h m	MOON Mer. Pass. Upper h m	MOON Mer. Pass. Lower h m	MOON Age d	MOON Phase %
3	10 58	11 08	11 49	13 41	01 19	02	6
4	11 17	11 26	11 49	14 25	02 03	03	11
5	11 35	11 44	11 48	15 10	02 48	04	17

نصف قطر الشمس

نصف قطر القمر لثلاثة أيام

العبور الزوالي للشمس على خط الطول الرئيسي

بالتوقيت المحلي المتوسط LMT

عمر ونسبة إضاءة القمر

ربما يكون الجزء الأكثر إرباكًا في الجداول هي جداول الاستيفاء وهي جداول الزيادة لبيانات الدقائق والثواني بين البيانات المجدولة بالساعات الصحيحة، والتصحيح الخاص بقيمة كل من v و d من نفس الجدول.

تستند جداول الاستيفاء إلى المعدلات الاسمية للتغير في قيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA لحركات الشمس والكواكب والقمر ونقطة الاعتدال الربيعي، فمع وجود تباينات في المعدلات التي يتم تعويضها بقيمتي v و d. حيث تشير القيمة v إلى الفروق في المعدل الاسمي للزاوية الساعية لغرينتش GHA بمعنى الفرق في معدل التزايد الفعلي عن معدل التزايد المجدول Rate. بينما تشير القيمة d إلى معدل التغير المباشر لدرجة الميل Dec بالساعة.

Rate = 15.00000 (degrees/hour) for Sun or planets

Rate = 14.31667 (degrees/hour) for Moon

Rate = 15.04107 (degrees/hour) for Aries

الزيادات التي يجب إضافتها على قيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA لكل من الشمس والكواكب معاً، ونقطة الاعتدال الربيعي، واخيراً القمر. تكون لكل دقيقة ولكل ثانية. أما التصحيحات التي يجب إضافتها لكل من الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec والتي تناظر قيم v و d المستخرجة من الصفحات اليومية، تكون فقط لكل دقيقة. في حال القمر فإن القيم الحقيقية لكل من قيم v و d تعطى لكل ساعة، بينما تعطى القيم المتوسطة لفترة ثلاثة أيام لبقية الأجرام السماوية.

خذ بيانات كل ساعة في جداول الصفحات اليومية ما يقابلها من قيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA، وأضف الزيادة للدقائق والثواني من جداول الاستيفاء $Corr_{GHA}$، وأخيرًا أضف التصحيح $Corr^{v}$ بدلالة قيمة v المقابلة لعمود الدقائق والثواني في جداول الاستيفاء، وبالمثل بالنسبة إلى الميل Dec، خذ القيمة المجدولة للساعة Dec من الصفحات اليومية، ثم أضف التصحيح اللازم $Corr^{d}$ بدلالة قيمة d في جداول الاستيفاء.

$$GHA = GHA_{hour} + Corr_{GHA} + Corr^{v}$$

$$Dec = Dec_{hour} + Corr^{d}$$

جداول الاستيفاء الزيادة والتصحيح

دليل التصحيح v,d

الدقائق

الثواني

INCREMENTS AND CORRECTIONS

18m

18m s	SUN PLANETS ° ′	ARIES ° ′	MOON ° ′	v or d ′	Corrn ′	v or d ′	Corrn ′	v or d ′	Corrn ′
00	4 30·0	4 30·7	4 17·7	0·0	0·0	6·0	1·9	12·0	3·7
01	4 30·3	4 31·0	4 17·9	0·1	0·0	6·1	1·9	12·1	3·7
02	4 30·5	4 31·2	4 18·2	0·2	0·1	6·2	1·9	12·2	3·8
03	4 30·8	4 31·5	4 18·4	0·3	0·1	6·3	1·9	12·3	3·8
04	4 31·0	4 31·7	4 18·7	0·4	0·1	6·4	2·0	12·4	3·8
05	4 31·3	4 32·0	4 18·9	0·5	0·2	6·5	2·0	12·5	3·9
06	4 31·5	4 32·2	4 19·1	0·6	0·2	6·6	2·0	12·6	3·9
07	4 31·8	4 32·5	4 19·4	0·7	0·2	6·7	2·1	12·7	3·9
08	4 32·0	4 32·7	4 19·6	0·8	0·2	6·8	2·1	12·8	3·9
09	4 32·3	4 33·0	4 19·8	0·9	0·3	6·9	2·1	12·9	4·0
10	4 32·5	4 33·2	4 20·1	1·0	0·3	7·0	2·2	13·0	4·0
11	4 32·8	4 33·5	4 20·3	1·1	0·3	7·1	2·2	13·1	4·0
12	4 33·0	4 33·7	4 20·6	1·2	0·4	7·2	2·2	13·2	4·1
13	4 33·3	4 34·0	4 20·8	1·3	0·4	7·3	2·3	13·3	4·1
14	4 33·5	4 34·2	4 21·0	1·4	0·4	7·4	2·3	13·4	4·1
15	4 33·8	4 34·5	4 21·3	1·5	0·5	7·5	2·3	13·5	4·2
16	4 34·0	4 34·8	4 21·5	1·6	0·5	7·6	2·3	13·6	4·2
17	4 34·3	4 35·0	4 21·8	1·7	0·5	7·7	2·4	13·7	4·2
18	4 34·5	4 35·3	4 22·0	1·8	0·6	7·8	2·4	13·8	4·3
19	4 34·8	4 35·5	4 22·2	1·9	0·6	7·9	2·4	13·9	4·3
20	4 35·0	4 35·8	4 22·5	2·0	0·6	8·0	2·5	14·0	4·3
21	4 35·3	4 36·0	4 22·7	2·1	0·6	8·1	2·5	14·1	4·3
22	4 35·5	4 36·3	4 22·9	2·2	0·7	8·2	2·5	14·2	4·4
23	4 35·8	4 36·5	4 23·2	2·3	0·7	8·3	2·6	14·3	4·4
24	4 36·0	4 36·8	4 23·4	2·4	0·7	8·4	2·6	14·4	4·4
25	4 36·3	4 37·0	4 23·7	2·5	0·8	8·5	2·6	14·5	4·5
26	4 36·5	4 37·3	4 23·9	2·6	0·8	8·6	2·7	14·6	4·5
27	4 36·8	4 37·5	4 24·1	2·7	0·8	8·7	2·7	14·7	4·5
28	4 37·0	4 37·8	4 24·4	2·8	0·9	8·8	2·7	14·8	4·6
29	4 37·3	4 38·0	4 24·6	2·9	0·9	8·9	2·7	14·9	4·6
30	4 37·5	4 38·3	4 24·9	3·0	0·9	9·0	2·8	15·0	4·6
31	4 37·8	4 38·5	4 25·1	3·1	1·0	9·1	2·8	15·1	4·7
32	4 38·0	4 38·8	4 25·3	3·2	1·0	9·2	2·8	15·2	4·7
33	4 38·3	4 39·0	4 25·6	3·3	1·0	9·3	2·9	15·3	4·7
34	4 38·5	4 39·3	4 25·8	3·4	1·0	9·4	2·9	15·4	4·7
35	4 38·8	4 39·5	4 26·1	3·5	1·1	9·5	2·9	15·5	4·8
36	4 39·0	4 39·8	4 26·3	3·6	1·1	9·6	3·0	15·6	4·8
37	4 39·3	4 40·0	4 26·5	3·7	1·1	9·7	3·0	15·7	4·8
38	4 39·5	4 40·3	4 26·8	3·8	1·2	9·8	3·0	15·8	4·9
39	4 39·8	4 40·5	4 27·0	3·9	1·2	9·9	3·1	15·9	4·9
40	4 40·0	4 40·8	4 27·2	4·0	1·2	10·0	3·1	16·0	4·9
41	4 40·3	4 41·0	4 27·5	4·1	1·3	10·1	3·1	16·1	5·0
42	4 40·5	4 41·3	4 27·7	4·2	1·3	10·2	3·1	16·2	5·0
43	4 40·8	4 41·5	4 28·0	4·3	1·3	10·3	3·2	16·3	5·0
44	4 41·0	4 41·8	4 28·2	4·4	1·4	10·4	3·2	16·4	5·1
45	4 41·3	4 42·0	4 28·4	4·5	1·4	10·5	3·2	16·5	5·1
46	4 41·5	4 42·3	4 28·7	4·6	1·4	10·6	3·3	16·6	5·1
47	4 41·8	4 42·5	4 28·9	4·7	1·4	10·7	3·3	16·7	5·1
48	4 42·0	4 42·8	4 29·2	4·8	1·5	10·8	3·3	16·8	5·2
49	4 42·3	4 43·0	4 29·4	4·9	1·5	10·9	3·4	16·9	5·2
50	4 42·5	4 43·3	4 29·6	5·0	1·5	11·0	3·4	17·0	5·2
51	4 42·8	4 43·5	4 29·9	5·1	1·6	11·1	3·4	17·1	5·3
52	4 43·0	4 43·8	4 30·1	5·2	1·6	11·2	3·5	17·2	5·3
53	4 43·3	4 44·0	4 30·3	5·3	1·6	11·3	3·5	17·3	5·3
54	4 43·5	4 44·3	4 30·6	5·4	1·7	11·4	3·5	17·4	5·4
55	4 43·8	4 44·5	4 30·8	5·5	1·7	11·5	3·5	17·5	5·4
56	4 44·0	4 44·8	4 31·1	5·6	1·7	11·6	3·6	17·6	5·4
57	4 44·3	4 45·0	4 31·3	5·7	1·8	11·7	3·6	17·7	5·5
58	4 44·5	4 45·3	4 31·5	5·8	1·8	11·8	3·6	17·8	5·5
59	4 44·8	4 45·5	4 31·8	5·9	1·8	11·9	3·7	17·9	5·5
60	4 45·0	4 45·8	4 32·0	6·0	1·9	12·0	3·7	18·0	5·6

19m

19m s	SUN PLANETS ° ′	ARIES ° ′	MOON ° ′	v or d ′	Corrn ′	v or d ′	Corrn ′	v or d ′	Corrn ′
00	4 45·0	4 45·8	4 32·0	0·0	0·0	6·0	2·0	12·0	3·9
01	4 45·3	4 46·0	4 32·3	0·1	0·0	6·1	2·0	12·1	3·9
02	4 45·5	4 46·3	4 32·5	0·2	0·1	6·2	2·0	12·2	4·0
03	4 45·8	4 46·5	4 32·7	0·3	0·1	6·3	2·0	12·3	4·0
04	4 46·0	4 46·8	4 33·0	0·4	0·1	6·4	2·1	12·4	4·0
05	4 46·3	4 47·0	4 33·2	0·5	0·2	6·5	2·1	12·5	4·1
06	4 46·5	4 47·3	4 33·4	0·6	0·2	6·6	2·1	12·6	4·1
07	4 46·8	4 47·5	4 33·7	0·7	0·2	6·7	2·2	12·7	4·1
08	4 47·0	4 47·8	4 33·9	0·8	0·3	6·8	2·2	12·8	4·2
09	4 47·3	4 48·0	4 34·2	0·9	0·3	6·9	2·2	12·9	4·2
10	4 47·5	4 48·3	4 34·4	1·0	0·3	7·0	2·3	13·0	4·2
11	4 47·8	4 48·5	4 34·6	1·1	0·4	7·1	2·3	13·1	4·3
12	4 48·0	4 48·8	4 34·9	1·2	0·4	7·2	2·3	13·2	4·3
13	4 48·3	4 49·0	4 35·1	1·3	0·4	7·3	2·4	13·3	4·3
14	4 48·5	4 49·3	4 35·4	1·4	0·5	7·4	2·4	13·4	4·4
15	4 48·8	4 49·5	4 35·6	1·5	0·5	7·5	2·4	13·5	4·4
16	4 49·0	4 49·8	4 35·8	1·6	0·5	7·6	2·5	13·6	4·4
17	4 49·3	4 50·0	4 36·1	1·7	0·6	7·7	2·5	13·7	4·5
18	4 49·5	4 50·3	4 36·3	1·8	0·6	7·8	2·5	13·8	4·5
19	4 49·8	4 50·5	4 36·6	1·9	0·6	7·9	2·6	13·9	4·5
20	4 50·0	4 50·8	4 36·8	2·0	0·7	8·0	2·6	14·0	4·6
21	4 50·3	4 51·0	4 37·0	2·1	0·7	8·1	2·6	14·1	4·6
22	4 50·5	4 51·3	4 37·3	2·2	0·7	8·2	2·7	14·2	4·6
23	4 50·8	4 51·5	4 37·5	2·3	0·7	8·3	2·7	14·3	4·6
24	4 51·0	4 51·8	4 37·7	2·4	0·8	8·4	2·7	14·4	4·7
25	4 51·3	4 52·0	4 38·0	2·5	0·8	8·5	2·8	14·5	4·7
26	4 51·5	4 52·3	4 38·2	2·6	0·8	8·6	2·8	14·6	4·7
27	4 51·8	4 52·5	4 38·5	2·7	0·9	8·7	2·8	14·7	4·8
28	4 52·0	4 52·8	4 38·7	2·8	0·9	8·8	2·9	14·8	4·8
29	4 52·3	4 53·1	4 38·9	2·9	0·9	8·9	2·9	14·9	4·8
30	4 52·5	4 53·3	4 39·2	3·0	1·0	9·0	2·9	15·0	4·9
31	4 52·8	4 53·6	4 39·4	3·1	1·0	9·1	3·0	15·1	4·9
32	4 53·0	4 53·8	4 39·7	3·2	1·0	9·2	3·0	15·2	4·9
33	4 53·3	4 54·1	4 39·9	3·3	1·1	9·3	3·0	15·3	5·0
34	4 53·5	4 54·3	4 40·1	3·4	1·1	9·4	3·1	15·4	5·0
35	4 53·8	4 54·6	4 40·4	3·5	1·1	9·5	3·1	15·5	5·0
36	4 54·0	4 54·8	4 40·6	3·6	1·2	9·6	3·1	15·6	5·1
37	4 54·3	4 55·1	4 40·8	3·7	1·2	9·7	3·2	15·7	5·1
38	4 54·5	4 55·3	4 41·1	3·8	1·2	9·8	3·2	15·8	5·1
39	4 54·8	4 55·6	4 41·3	3·9	1·3	9·9	3·2	15·9	5·2
40	4 55·0	4 55·8	4 41·6	4·0	1·3	10·0	3·3	16·0	5·2
41	4 55·3	4 56·1	4 41·8	4·1	1·3	10·1	3·3	16·1	5·2
42	4 55·5	4 56·3	4 42·0	4·2	1·4	10·2	3·3	16·2	5·3
43	4 55·8	4 56·6	4 42·3	4·3	1·4	10·3	3·3	16·3	5·3
44	4 56·0	4 56·8	4 42·5	4·4	1·4	10·4	3·4	16·4	5·3
45	4 56·3	4 57·1	4 42·8	4·5	1·5	10·5	3·4	16·5	5·4
46	4 56·5	4 57·3	4 43·0	4·6	1·5	10·6	3·4	16·6	5·4
47	4 56·8	4 57·6	4 43·2	4·7	1·5	10·7	3·5	16·7	5·4
48	4 57·0	4 57·8	4 43·5	4·8	1·6	10·8	3·5	16·8	5·5
49	4 57·3	4 58·1	4 43·7	4·9	1·6	10·9	3·5	16·9	5·5
50	4 57·5	4 58·3	4 43·9	5·0	1·6	11·0	3·6	17·0	5·5
51	4 57·8	4 58·6	4 44·2	5·1	1·7	11·1	3·6	17·1	5·6
52	4 58·0	4 58·8	4 44·4	5·2	1·7	11·2	3·6	17·2	5·6
53	4 58·3	4 59·1	4 44·7	5·3	1·7	11·3	3·7	17·3	5·6
54	4 58·5	4 59·3	4 44·9	5·4	1·8	11·4	3·7	17·4	5·7
55	4 58·8	4 59·6	4 45·1	5·5	1·8	11·5	3·7	17·5	5·7
56	4 59·0	4 59·8	4 45·4	5·6	1·8	11·6	3·8	17·6	5·7
57	4 59·3	5 00·1	4 45·6	5·7	1·9	11·7	3·8	17·7	5·8
58	4 59·5	5 00·3	4 45·9	5·8	1·9	11·8	3·8	17·8	5·8
59	4 59·8	5 00·6	4 46·1	5·9	1·9	11·9	3·9	17·9	5·8
60	5 00·0	5 00·8	4 46·3	6·0	2·0	12·0	3·9	18·0	5·9

xi

زيادة الدقائق والثواني للزاوية الساعية لغرينتش

قيمة التصحيح لكل من Dec,GHA

طريقة استخدام جداول التقويم البحري

يمكن الحصول على البيانات الفلكية وعناصر الحساب المتمثلة في كل من الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec بطريقة مباشرة، وذلك من خلال دخول الجداول واستخراج البيانات. كما يمكن استخلاص بيانات فلكية أخرى من نفس الجداول بطريقة غير مباشرة من خلال العلاقات الرياضية التي تربط بين هذه البيانات.

<u>مثال</u>: باستخدام التقويم البحري لسنة 2016، استخرج قيمة كل من الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec للشمس، والقمر. عند وقت غرينتش GMT 07^h 18^m 25^s من يوم 3 Oct. 2016.

نستخدم التقويم البحري لسنة 2016، وندخل في الصفحات اليومية بتاريخ 3 Oct عند جداول الشمس والقمر، ونحدد السطر الافقي المقابل للساعة UT 07^h، ونستخرج جميع البيانات المطلوبة لحساب GHA و Dec للشمس والقمر، وهي:-

1 → 2016 OCTOBER

UT (d h)	SUN GHA (° ′)	SUN Dec (° ′)	MOON GHA (° ′)	MOON v (′)	MOON Dec (° ′)	MOON d (′)	MOON HP (′)
3 00	182 44.7	S 4 02.6	160 47.7	14.7	S 8 28.6	8.4	54.1
01	197 44.9	03.5	175 21.4	14.6	8 37.0	8.4	54.1
02	212 45.1	04.5	189 55.0	14.6	8 45.4	8.4	54.1
03	227 45.3	. . 05.5	204 28.6	14.7	8 53.8	8.3	54.1
04	242 45.5	06.4	219 02.3	14.5	9 02.1	8.3	54.1
05	257 45.6	07.4	233 35.8	14.6	9 10.4	8.3	54.1
06	272 45.8	S 4 08.4	248 09.4	14.6	S 9 18.7	8.2	54.1
07	287 46.0	09.3	262 43.0	14.5	9 26.9	8.1	54.1
08	302 46.2	10.3	277 16.5	14.6	9 35.0	8.1	54.1
M 09	317 46.4	. . 11.3	291 50.1	14.5	9 43.1	8.1	54.1
O 10	332 46.6	12.2	306 23.6	14.5	9 51.2	8.1	54.1
N 11	347 46.8	13.2	320 57.1	14.5	9 59.3	7.9	54.1
D 12	2 47.0	S 4 14.2	335 30.6	14.5	S10 07.2	8.0	54.0
A 13	17 47.2	15.1	350 04.1	14.4	10 15.2	7.9	54.0
Y 14	32 47.4	16.1	4 37.5	14.4	10 23.1	7.8	54.0
15	47 47.6	. . 17.1	19 10.9	14.5	10 30.9	7.9	54.0
16	62 47.8	18.0	33 44.4	14.4	10 38.8	7.7	54.0
17	77 48.0	19.0	48 17.8	14.3	10 46.5	7.7	54.0

SUN	
GHA (° ′)	Dec (° ′)
SD 16.0	*d* 1.0

<u>**SUN**</u>

GHA 287° 46.0′

Dec 04° 09.3′ S

d 1.0′

<u>**MOON**</u>

GHA 262° 43.0′

v 14.5′

Dec 09° 26.9′ S

d 8.1′

ننتقل إلى جداول الاستيفاء عند الدقيقة 18^m، وهي جداول الزيادة في قيمة GHA، والتصحيح بدلالة كل من v,d. ونحدد السطر الافقي المقابل للثانية 25^s أسفل عمود الدقيقة 18^m، ونستخرج قيمة الزيادة في GHA لكل من الشمس والقمر، وهي:-

SUN

Corr $_{GHA}$ 04° 36.3′

MOON

Corr $_{GHA}$ 04° 23.7′

والتي تمثل الزيادة في قيمة GHA المقابلة لـ $18^m\ 25^s$

INCREMENTS AND CORRECTIONS

1 → 18^m جدول الزيادة | جدول التصحيح

18^m	SUN PLANETS	ARIES	MOON	v or d	Corrⁿ	v or d	Corrⁿ	v or d	Corrⁿ
s	° ′	° ′	° ′	′	′	′	′	′	′
00	4 30·0	4 30·7	4 17·7	0·0	0·0	6·0	1·9	12·0	3·7
01	4 30·3	4 31·0	4 17·9	0·1	0·0	6·1	1·9	12·1	3·7
02	4 30·5	4 31·2	4 18·2	0·2	0·1	6·2	1·9	12·2	3·8
03	4 30·8	4 31·5	4 18·4	0·3	0·1	6·3	1·9	12·3	3·8
04	4 31·0	4 31·7	4 18·7	0·4	0·1	6·4	2·0	12·4	3·8
05	4 31·3	4 32·0	4 18·9	0·5	0·2	6·5	2·0	12·5	3·9
06	4 31·5	4 32·2	4 19·1	0·6	0·2	6·6	2·0	12·6	3·9
07	4 31·8	4 32·5	4 19·4	0·7	0·2	6·7	2·1	12·7	3·9
08	4 32·0	4 32·7	4 19·6	0·8	0·2	6·8	2·1	12·8	3·9
09	4 32·3	4 33·0	4 19·8	0·9	0·3	6·9	2·1	12·9	4·0
10	4 32·5	4 33·2	4 20·1	1·0	0·3	7·0	2·2	13·0	4·0
11	4 32·8	4 33·5	4 20·3	1·1	0·3	7·1	2·2	13·1	4·0
12	4 33·0	4 33·7	4 20·6	1·2	0·4	7·2	2·2	13·2	4·1
13	4 33·3	4 34·0	4 20·8	1·3	0·4	7·3	2·3	13·3	4·1
14	4 33·5	4 34·2	4 21·0	1·4	0·4	7·4	2·3	13·4	4·1
15	4 33·8	4 34·5	4 21·3	1·5	0·5	7·5	2·3	13·5	4·2
16	4 34·0	4 34·8	4 21·5	1·6	0·5	7·6	2·3	13·6	4·2
17	4 34·3	4 35·0	4 21·8	1·7	0·5	7·7	2·4	13·7	4·2
18	4 34·5	4 35·3	4 22·0	1·8	0·6	7·8	2·4	13·8	4·3
19	4 34·8	4 35·5	4 22·2	1·9	0·6	7·9	2·4	13·9	4·3
20	4 35·0	4 35·8	4 22·5	2·0	0·6	8·0	2·5	14·0	4·3
21	4 35·3	4 36·0	4 22·7	2·1	0·6	8·1	2·5	14·1	4·3
22	4 35·5	4 36·3	4 22·9	2·2	0·7	8·2	2·5	14·2	4·4
23	4 35·8	4 36·5	4 23·2	2·3	0·7	8·3	2·6	14·3	4·4
24	4 36·0	4 36·8	4 23·4	2·4	0·7	8·4	2·6	14·4	4·4
2 → 25	4 36·3	4 37·0	4 23·7	2·5	0·8	8·5	2·6	14·5	4·5
26	4 36·5	4 37·3	4 23·9	2·6	0·8	8·6	2·7	14·6	4·5
27	4 36·8	4 37·5	4 24·1	2·7	0·8	8·7	2·7	14·7	4·5
28	4 37·0	4 37·8	4 24·4	2·8	0·9	8·8	2·7	14·8	4·6
29	4 37·3	4 38·0	4 24·6	2·9	0·9	8·9	2·7	14·9	4·6

في جدول التصحيح المقابل لجدول الزيادة ندخل بدلالة قيمة d الخاصة بتعديل ميل الشمس، وبقيمة d الخاصة بتعديل ميل القمر، ونأخذ ما يقابلهما من دقائق تصحيح الميل Corr^{d} وكذلك ندخل بدلالة قيمة v الخاصة بتعديل GHA للقمر، ونأخذ ما يقابلها من دقائق تصحيح الزاوية الساعية لغرينتش Corr^{v}، وذلك على النحو التالي:-

SUN

Corr $^{d=1.0}$ = 0.3′

MOON

Corr $^{d=8.1}$ = 2.5′

Corr $^{v=14.5}$ = 4.5′

أخيراً تجمع كافة هذه البيانات والتصحيحات في هيئة رياضية للحصول على الزاوية الساعية لغرينتش GHA، ودرجة الميل Dec لكل من الشمس، والقمر عند $UT\ 07^h\ 18^m\ 25^s$ من يوم 3 Oct. 2016 .

SUN GHA

$GHA^{(07h)}$	287° 46.0′
$Corr_{GHA\ (18m\ 25s)}$	04° 36.3′
GHA_{Sun}	292° 22.3′

SUN Dec.

$Dec^{(07h)}$	04° 09.3′ S
$Corr^{d=1.0}$	0.3′
Dec_{Sun}	04° 09.6′ S

MOON GHA

$GHA^{(07h)}$	262° 43.0′
$Corr_{GHA\ (18m\ 25s)}$	04° 23.7′
$Corr^{v=14.5}$	4.5′
GHA_{Moon}	267° 11.2′

MOON Dec.

$Dec^{(07h)}$	09° 26.9′ S
$Corr^{d=1.0}$	2.5′
Dec_{Moon}	09° 29.4′ S

إن قيمة تصحيح الميل $Corr^d$ لا تأتي مع إشارة الجمع أو الطرح، ويجب استنتاجها من خلال سياق حركة الميل خلال ساعات اليوم. فعلى سبيل المثال إذا كانت درجة الميل المستخرجة من الصفحات اليومية للتقويم البحري موجبة N، وكانت حركة الميل في ساعات هذا اليوم في تزايد فهذا السياق يجعلنا نستنتج بأن نجمع قيمة تصحيح الميل $Corr^d$ المستخرج من جداول الاستيفاء للحصول على درجة ميل شمالي N أكبر، وهكذا.

<u>مثال</u>: استخرج قيمة كل من الزاوية الساعية المحلية LHA، ودرجة الميل Dec لنجم الدبران Aldebaran. عند وقت غرينتش 25^s 18^m GMT 07^h من يوم 3 Oct. 2016 لراصد على خط طول E 048° 00′.

في التقويم البحري يتم ادراج ميل النجم بشكل مباشر من خلال الصفحات اليومية للتقويم بحسب اليوم المطلوب. بينما لا يتم توفير الزاوية الساعية لغرينتش GHA للنجوم، وعوضاً عنها يتم توفير الزاوية الساعية النجمية SHA التي باضافتها إلى الزاوية الساعية لغرينتش لنقطة الاعتدال الربيعي Aries يمكن ايجاد قيمة GHA للنجوم، ومنها نحصل على قيمة الزاوية الساعية المحلية LHA للنجم بدلالة خط طول الراصد.

تجدر الإشارة هنا إلى أن الزاوية الساعية لغرينتش لنقطة الاعتدال الربيعي GHA_{Aries} المدرجة ضمن جداول التقويم البحري هي نفسها الوقت النجمي لغرينتش GST.

GHA_{Aries} (07h)	**117° 24.9′**
Corr $_{GHA\ Aries\ (18m\ 25s)}$	**04° 37.0′**
GHA_{Aries} (GST)	**122° 01.9′**

Dec (03 Oct. 2016)	**16° 32.4′ N**

194 — 1 — 2016 OCTOBER

UT	ARIES	VENUS −3·9				MARS +0·1			
d h (2)	GHA ° ′	GHA °	′	Dec °	′	GHA °	′	Dec °	′
3 00	12 07.7	153	13.8	S15	33.7	97	58.6	S25	45.5
01	27 10.1	168	13.3		34.7	112	59.2		45.4
02	42 12.6	183	12.8		35.8	127	59.8		45.3
03	57 15.1	198	12.3	. .	36.9	143	00.4	. .	45.2
04	72 17.5	213	11.8		37.9	158	01.0		45.2
05	87 20.0	228	11.3		39.0	173	01.6		45.1
06	102 22.5	243	10.8	S15	40.0	188	02.2	S25	45.0
3 → 07	117 24.9	258	10.3		41.1	203	02.8		44.9
08	132 27.4	273	09.8		42.2	218	03.4		44.8

4

18^m INCREMENTS AND CORRECTIONS

^{m} 18 s	SUN PLANETS ° ′	ARIES ° ′	MOON ° ′	v or d ′	Corr^n ′	v or d ′	Corr^n ′	v or d ′	Corr^n ′
00	4 30·0	4 30·7	4 17·7	0·0	0·0	6·0	1·9	12·0	3·7
01	4 30·3	4 31·0	4 17·9	0·1	0·0	6·1	1·9	12·1	3·7
02	4 30·5	4 31·2	4 18·2	0·2	0·1	6·2	1·9	12·2	3·8
03	4 30·8	4 31·5	4 18·4	0·3	0·1	6·3	1·9	12·3	3·8
04	4 31·0	4 31·7	4 18·7	0·4	0·1	6·4	2·0	12·4	3·8
05	4 31·3	4 32·0	4 18·9	0·5	0·2	6·5	2·0	12·5	3·9
06	4 31·5	4 32·2	4 19·1	0·6	0·2	6·6	2·0	12·6	3·9
07	4 31·8	4 32·5	4 19·4	0·7	0·2	6·7	2·1	12·7	3·9
08	4 32·0	4 32·7	4 19·6	0·8	0·2	6·8	2·1	12·8	3·9
09	4 32·3	4 33·0	4 19·8	0·9	0·3	6·9	2·1	12·9	4·0
10	4 32·5	4 33·2	4 20·1	1·0	0·3	7·0	2·2	13·0	4·0
11	4 32·8	4 33·5	4 20·3	1·1	0·3	7·1	2·2	13·1	4·0
12	4 33·0	4 33·7	4 20·6	1·2	0·4	7·2	2·2	13·2	4·1
13	4 33·3	4 34·0	4 20·8	1·3	0·4	7·3	2·3	13·3	4·1
14	4 33·5	4 34·2	4 21·0	1·4	0·4	7·4	2·3	13·4	4·1
15	4 33·8	4 34·5	4 21·3	1·5	0·5	7·5	2·3	13·5	4·2
16	4 34·0	4 34·8	4 21·5	1·6	0·5	7·6	2·3	13·6	4·2
17	4 34·3	4 35·0	4 21·8	1·7	0·5	7·7	2·4	13·7	4·2
18	4 34·5	4 35·3	4 22·0	1·8	0·6	7·8	2·4	13·8	4·3
19	4 34·8	4 35·5	4 22·2	1·9	0·6	7·9	2·4	13·9	4·3
20	4 35·0	4 35·8	4 22·5	2·0	0·6	8·0	2·5	14·0	4·3
21	4 35·3	4 36·0	4 22·7	2·1	0·6	8·1	2·5	14·1	4·3
22	4 35·5	4 36·3	4 22·9	2·2	0·7	8·2	2·5	14·2	4·4
23	4 35·8	4 36·5	4 23·2	2·3	0·7	8·3	2·6	14·3	4·4
24	4 36·0	4 36·8	4 23·4	2·4	0·7	8·4	2·6	14·4	4·4
25	4 36·3	4 37·0	4 23·7	2·5	0·8	8·5	2·6	14·5	4·5
26	4 36·5	4 37·3	4 23·9	2·6	0·8	8·6	2·7	14·6	4·5
27	4 36·8	4 37·5	4 24·1	2·7	0·8	8·7	2·7	14·7	4·5
28	4 37·0	4 37·8	4 24·4	2·8	0·9	8·8	2·7	14·8	4·6
29	4 37·3	4 38·0	4 24·6	2·9	0·9	8·9	2·7	14·9	4·6

GHA_{Aries} (GST)	122° 01.9′
SHA $_{Aldebaran}$	290° 46.7′
GHA $_{Aldebaran}$	052° 48.6′

STARS

Name	SHA		Dec	
	°	′	°	′
Acamar	315	16.4	S40	14.2
Achernar	335	24.7	S57	09.1
Acrux	173	07.3	S63	11.4
Adhara	255	10.8	S28	59.6
Aldebaran	290	46.7	N16	32.4

GHA $_{Aldebaran}$	052° 48.6′
Long. E	048° 00′
LHA $_{Aldebaran}$	100° 48.6′

<u>مثال</u>: استخرج قيمة اختلاف المنظر الأفقي HP للقمر عند وقت $UT\ 07^h$ من يوم 3 Oct. 2016. ثم احسب مسافة القمر من الأرض Moon Distance بالكيلومتر إذا علمت أن نصف قطر الأرض يعادل (*6378.14 km*).

$$Sin(HP) = \frac{6378.14}{\text{Moon Distance}}$$

$$\text{Moon Distance} = \frac{6378.14}{\text{Sin (HP)}}$$

$$\text{Moon Distance} = \frac{6378.14}{\text{Sin } (00° \ 54.1')}$$

$$\text{Moon Distance} = 405311.19 \ Km$$

1 **2016 OCTOBER**

UT	SUN		MOON				
	GHA	Dec	GHA	v	Dec	d	HP
d h	° ′	° ′	° ′	′	° ′	′	′
3 00	182 44.7	S 4 02.6	160 47.7	14.7	S 8 28.6	8.4	54.1
01	197 44.9	03.5	175 21.4	14.6	8 37.0	8.4	54.1
02	212 45.1	04.5	189 55.0	14.6	8 45.4	8.4	54.1
03	227 45.3	. . 05.5	204 28.6	14.7	8 53.8	8.3	54.1
04	242 45.5	06.4	219 02.3	14.5	9 02.1	8.3	54.1
05	257 45.6	07.4	233 35.8	14.6	9 10.4	8.3	54.1
06	272 45.8	S 4 08.4	248 09.4	14.6	S 9 18.7	8.2	54.1
07	287 46.0	09.3	262 43.0	14.5	9 26.9	8.1	54.1
08	302 46.2	10.3	277 16.5	14.6	9 35.0	8.1	54.1
M 09	317 46.4	. . 11.3	291 50.1	14.5	9 43.1	8.1	54.1
O 10	332 46.6	12.2	306 23.6	14.5	9 51.2	8.1	54.1
N 11	347 46.8	13.2	320 57.1	14.5	9 59.3	7.9	54.1
D 12	2 47.0	S 4 14.2	335 30.6	14.5	S10 07.2	8.0	54.0
A 13	17 47.2	15.1	350 04.1	14.4	10 15.2	7.9	54.0
Y 14	32 47.4	16.1	4 37.5	14.4	10 23.1	7.8	54.0
15	47 47.6	. . 17.1	19 10.9	14.5	10 30.9	7.9	54.0
16	62 47.8	18.0	33 44.4	14.4	10 38.8	7.7	54.0
17	77 48.0	19.0	48 17.8	14.3	10 46.5	7.7	54.0

مثال: احسب قيمة المطلع المستقيم RA لكل من الشمس، ونجم الدبران Aldebaran. عند $GMT\ 07^h\ 18^m\ 25^s$ من يوم 3 Oct. 2016 .

نستخرج الزاوية الساعية النجمية SHA لنجم الدبران Aldebaran عند يوم 3 Oct. ، ثم نأخذ تمامها إلى 360° لنحصل على قيمة المطلع المستقيم RA للنجم.

$SHA_{Aldebaran}$	290° 46.7′
RA = 360° ∽ SHA	∽ 360°
$RA_{Aldebaran}$	069° 13.3′

للحصول على المطلع المستقيم RA للشمس، نحسب أولاً قيمة الوقت النجمي لغرينتش GST عند وقت غرينتش المطلوب.

$GHA_{Aries}^{(07h)}$	117° 24.9′
Corr $_{GHA\ Aries\ (18m\ 25s)}$	04° 37.0′
GHA_{Aries} (GST)	122° 01.9′

ثم نحسب قيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA للشمس عند وقت غرينتش المطلوب.

$GHA^{(07h)}$	287° 46.0′
Corr $_{GHA\ (18m\ 25s)}$	04° 23.7′
GHA_{Sun}	292° 22.3′

نطرح قيمة الزاوية الساعية لغرينتش GHA للشمس من قيمة الوقت النجمي لغرينتش GST لنحصل على قيمة المطلع المستقيم RA للشمس عند وقت غرينتش المطلوب.

GHA_{Aries}	122° 01.9′
GHA_{Sun}	292° 22.3′ -
RA_{Sun}	189° 39.6′

مثال: احسب موعد زوال الشمس بتوقيت غرينتش GMT لأقرب دقيقة في الكويت خط طول 048° 00′E، وذلك ليوم 5 Oct. 2016. ثم وبطريقة حساب التناسب استخرج معادلة الوقت لحسب موعد الزوال لاقرب ثانية.

نستخدم التقويم البحري لسنة 2016، وندخل في الصفحات اليومية بتاريخ 5 Oct في الصفحة اليمنى عند جدول موعد زوال الشمس وقيمة معادلة الوقت، ونحدد السطر الافقي المقابل لليوم المطلوب، ونستخرج موعد زوال الشمس، وهو وقت زوال الشمس عند خط الطول الرئيسي بالتوقيت المحلي المتوسط LMT، والذي يجب تحويله إلى وقت غرينتش GMT، ثم نستخدم وقت غرينيتش لتعديل قيمة معادلة الوقت لتكون محسوبة عند وقت الزوال.

$LMT_{Sun\ Mer.\ Pass}$	$11^h\ 48^m$
$Long._{E-}$	$03^h\ 12^m$
$GMT_{Sun\ Mer.\ Pass}$	$08^h\ 36^m$,5 Oct

Day	Eqn. of Time 00h		Eqn. of Time 12h		SUN Mer. Pass.	
d	m	s	m	s	h	m
3	10	58	11	08	11	49
4	11	17	11	26	11	49
5	11	35	11	44	11	48

GMT	Eq.T
00^h	$00^h\ 11^m\ 35^s$
12^h	$00^h\ 11^m\ 44^s$

$$Eq.T\ at\ GMT_{08h36m} = 00^h\ 11^m\ 35^s + [(00^h\ 11^m\ 44^s - 00^h\ 11^m\ 35^s) \times 08^h 36^m] \div 12^h$$

$$Eq.T\ at\ GMT_{08h36m} = 00^h\ 11^m\ 41^s$$

$LAT_{At\ Noon}$ $12^h\ 00^m\ 00^s$

Eq.T - $11^m\ 41^s$ (Eq.T +) MT < AT

LMT $11^h\ 48^m\ 19^s$

$Long_{E-}$ $03^h\ 12^m\ 00^s$

GMT $08^h\ 36^m\ 19^s$,5 Oct

المراجع العلمية

أولاً: المراجع العربية

- قبطان/عادل أحمد مصطفى (الملاحة الفلكية) ،الشهابي للطباعة والنشر ،الإسكندرية.

- قبطان/عادل أحمد مصطفى (الملاحة العامة) ،منشأة المعارف ،الإسكندرية.

- قبطان/علي عبداللا (الملاحة الأرضية وأشغال الخريطة) ،منشأة المعارف ،الإسكندرية.

- أ.د. محمد أحمد سليمان (سباحة فضائية في آفاق علم الفلك) ،مكتبة العجيري ،الكويت .

- أحمد محمد الأنصاري (الفلك الكروي) ،دار العروبة للنشر والتوزيع ،الكويت .

- د. صالح محمد العجيري (المواقيت والقبلة قواعد وأمثلة) ،مكتبة العجيري ،الكويت .

- د. محمد رضا مدور (علم الفلك) ، الهيئة العامة لشؤون المطابع الأميرية ،القاهرة.

- د.أمين طربوش (الجغرافيا الفلكية والطرائق العملية في مراقبة الأجرام) ،دار الفكر ،دمشق .

- حامد أحمد صالح (المبادئ الفلكية والبوصلات الشمسية) ،المطبعة الأميرية ،القاهرة .

- عادل حسن السعدون (الجامع اللطيف في علم البحر) ،مركز البحوث والدراسات الكويتية ،الكويت.

- حسن صالح شهاب (الملاحة عند العرب) ،مركز البحوث والدراسات الكويتية ،الكويت.

- م. محمد شوكت عوده (بحث/حساب مواقيت الصلاة) ،المشروع الإسلامي لرصد الأهلة .

- عبد الأمير المؤمن (قاموس دار العلم الفلكي) ،دار العلم للملايين ،بيروت.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Astronomical Algorithms by Jean Meeus (2nd edition, December 1998, Willmann-Bell, Inc).

- Norie's Nautical Tables, Imray,Laurie,Norie & Wilson Ltd, Revised edition 2007

- Astronomical Almanac for the Year 2022 by Nautical Almanac Office (U.S.), Annual edition.

- Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac by US Naval Observatory & University of Virginia.

- Textbook on Spherical Astronomy by W. M. Smart (Sixth edition, results by R. M. Green).

- Celestial Navigation in a Nutshell by Hewitt Schlereth, Sheridan House, (July 15, 2000).

- Nautical Almanac 2016 by US Naval Observatory, UK Hydrographic.

-The History of the Sextant, Talk given at the amphitheatre of the Physics Museumby Peter Ifland, the 3 October 2000.

-Higher Surveying by A. M. Chandra, New Age International, 2005.

-Celestial Navigation for Yachtsmen by Mary Blewitt, International Marine/Ragged Mountain Press; 2nd edition 1994.

-Celestial Navigation: A Complete Home Study Course by David Burch, Second Edition 2015.

-Celestial Navigation: Learn How to Master One of the Oldest Mariner's Arts by Tom Cunliffe, Fernhurst Books; 3rd edition 2010.

-Latitude Hooks and Azimuth Rings: How to Build and Use 18 Traditional Navigational by Dennis Fisher, International Marine/Ragged Mountain Press; 1st edition 1994.

فهرس المحتويات

Ahmad Mohammad Alansari
P.O. Box: 521
C/O: 83816,Khaitan
Kuwait

